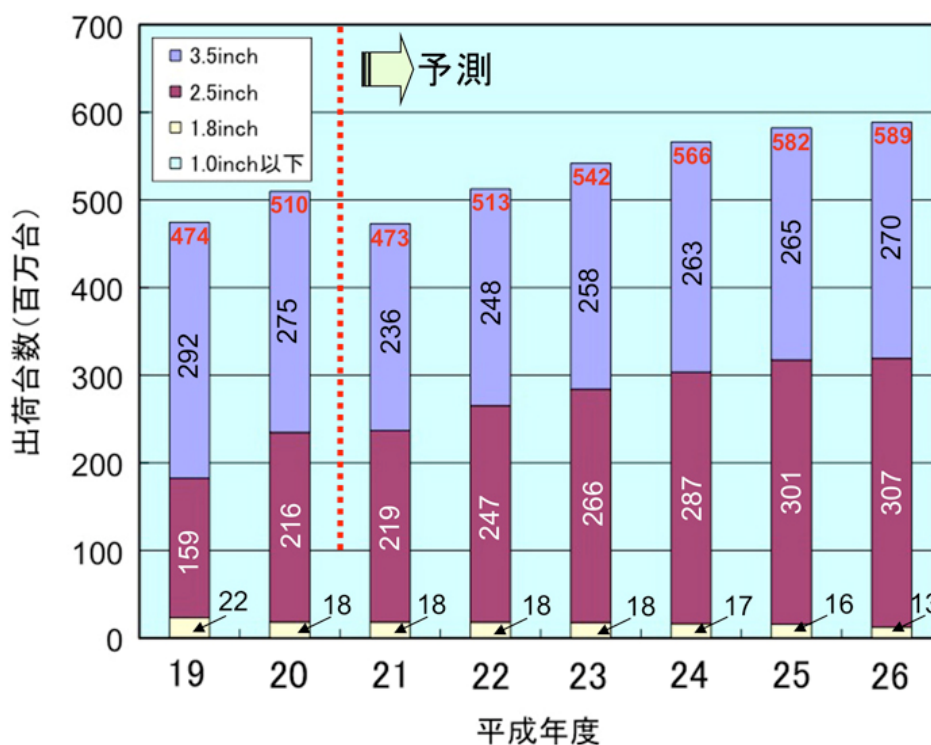


#### IV. 実用化、事業化の見通しについて

##### IV. 1 実用化の見通し

###### IV. 1. 1. 次世代高密度磁気記録媒体の開発

図IV-1 にワールドワイドにおける HDD（ハードディスクドライブ）のフォームファクターで整理した出荷台数の推移を示す。平成 20 年度までが実績で、平成 21 年度以降が予測である。全体の傾向としては、右肩上がりに市場が拡大する。市場の規模について見てみると、現状の平成 19 年度では、出荷台数で 4.7 億台、売上高で 3 兆 8 千億円と見積もられるものが、5 年後の平成 24 年度には、出荷台数で 20% 増の 5.7 億台、売上高で 10% 増の 4 兆 2 千億円が見込まれており、市場は成長し続けていくことが予測される。小径の 1.0 インチ以下はアプリケーションにおいてフラッシュメモリと競合しており、当初期待された伸びは減少傾向を呈していることがわかる。しかしながら、紫色で示した 2.5inch の HDD の伸び率は堅調で、従来のコンピュータ用途と位置付けられる IT 市場では、ノート PC 用途の伸びが牽引役となり今後とも順調に伸びるものと予測されている。さらに、このことに加えて、この数年で新たに形成されてきた HDD レコーダや携帯音楽プレーヤー等のデジタル家電もしくは情報家電用途と位置付けられる CE（Consumer Electronics）市場での 1.8 型～2.5 型以下の伸びが期待される。全出荷台数に対する CE 市場の比率は、平成 14 年度に 7% であったものが、平成 17 年度では 2 倍以上の 16%、平成 22 年度では 2005 年のほぼ 2 倍の 29% と予測され、IT 市場の台数ベースの伸びが年率十数% であるのに対し、CE 市場は年率 30～40% に達している。



図IV-1 ワールドワイドにおける HDD のフォームファクターで整理した製品別の市場規模の推移

以上述べたように、HDD 業界の現状を基に予測される将来の市場規模は、従来の IT 市場に加え、新たに出現した CE 市場の広がりやを反映して、非常に期待できるものと結論付けられる。しかしながら、金属ガラス材料を磁気記録媒体へ適用するためには、①硬磁性複合化金属ガラスの合金創製、②金型創製、ナノインプリントを含むの超高密度パターン形成、技術確立が必要である。この上で開発媒体に見合った評価技術が成立する。特に媒体の低コスト化を目指すためには、さらなる製造プロセス技術のブラッシュアップが必要であろう。市販 HDD(ハードディスクドライブ)に使用されている垂直磁気記録媒体の特性を元に、プロジェクト基盤技術開発の数値目標にとらわれることなく、媒体の実用化、事業化に必要な要求仕様(数値)および想定される技術課題を以下にまとめる。

以下、ノウハウ事項のため非公開とする。

現在は実験室レベルの研究開発である。実用化に向けては、媒体磁気特性(設計)、金型創製技術、ナノインプリント技術、記録層の充填・平坦化の各技術に対して、媒体設計および媒体創製プロセスに合致したフィードバックを掛け、実験結果に基づき適宜修正、最適化するものとする。

#### IV. 1. 2. 超微小モータ用部材の開発

財団法人マイクロマシンセンターの発表<sup>2)</sup>によると、平成 27 年の国内 MEMS 関連市場は 2 兆 4000 億円と予想しており、次世代技術として高い注目を浴びている。MEMS 市場は、自動車関連分野、情報通信機器関連分野、精密機器関連分野、医療福祉関連分野等、多岐に渡る産業分野において、さらなる市場拡大が期待されている。

本研究開発課題ではこれら MEMS 市場を含む幅広い分野を対象に、マイクロギヤードモータの具体的な市場調査を平成 19 年度から継続して実施している。開発した金属ガラス製マイクロギヤードモータの用途として、内視鏡やカテーテルへの搭載が、国内・米国・欧州など複数のメーカーや研究機関で検討されている。内視鏡については、ズームングやフォーカシングを行うためのレンズ駆動用や超音波振動子駆動用に直径 2 mm 以下のモータが望まれている。また、近年では赤外光を用いて高解像度の断層画像を得る OCT (Optical Coherence Tomography) 技術を利用した内視鏡の開発が進められており、赤外光スキャン用ミラーを回転させるためにモータの搭載が検討されている。カテーテルについては、血管の内壁に堆積した血栓やカルシウムなどを取り除くためのロータブレードや DCA(方向型アテレクトミー)などの回転駆動用としてモータの搭載が検討されている。現在、このロータブレードや DCA の回転駆動は体外に配置したモータを駆動し、フレキシブルワイヤを介して先端に付けたカッター等を回転させるものであったが、小径モータの実現によってカテーテル先端に直接配置させることができるため、フレキシブルワイヤの振動による患者への苦痛を低減することができる。その他、医療機器用途のみならず、マイクロロボッ

ト、バイオ研究など多岐にわたる分野での応用が期待されている<sup>3)</sup>。現在、実用化を目標として国内、欧米のメーカ、大学、研究所等を訪問し、直径 1.5 mm のギヤードモータのサンプルを提供し、実装評価を依頼しているところである。表IV-1 に直径 1.5 mm のギヤードモータのサンプル提供先のリストを示す。

表IV-1 直径 1.5 mm ギヤードモータのサンプル供給先リスト

		供給先		ギヤ比	数量	用途
		国名	分類			
平成 18 年度	1	アメリカ	メーカ	254:1 1609:1	1 1	DCAカテーテル
	2	アメリカ	研究機関	254:1	1	内視鏡
	3	アメリカ	大学	254:1	1	OCT内視鏡
平成 19 年度	4	アメリカ	研究機関	40:1 254:1	3 1	OCT内視鏡
	5	アメリカ	内視鏡メーカ	254:1	1	超音波内視鏡
	6	日本	大学	40:1	1	血栓除去カテーテル
	7	日本	研究機関(循環器)	40:1	1	補助人工心臓用ポンプ
	8	アメリカ	医療機器メーカ	40:1	1	DCAカテーテル
	9		その他	254:1	2	展示会、等
平成 20 年度	10	アメリカ	大学	254:1	3	OCT/超音波内視鏡
	11	イギリス	大学	254:1	1	手術用ロボット
	12	日本	医療機器メーカ	254:1 40:1	1 1	内視鏡
	13	アメリカ	歯科用機器メーカ	無し	2	レーザー制御用
	14	日本	大学	254:1	4	脳神経計測
	15	アメリカ	研究機関	254:1	1	用途開拓
	16		その他	254:1	2	展示会、等
平成 21 年度	15	アメリカ	研究機関	254:1	1	OCT内視鏡
	16	イギリス	大学	254:1 1609:1	2 2	手術用ロボット
	17	日本	メーカ	254:1	1	内視鏡
	18	日本	大学	254:1	6	脳神経計測
計				40:1	7	41
				254:1	29	
				1609:1	3	
				無し	2	

そして国内・米国の医療機器メーカにて開発を進めている DCA カテーテル、OCT 内視鏡、超音波内視鏡について、超微小モータの搭載が検討されており、トータルで 5 万個～10 万個程度/年のモータ需要が見込める。この医療機器については大半がディスプレイでありますが、モータとして単価が数万円というレベルでの単価設定が期待できる。

その中で、さらに小径である直径 1 mm 以下のギヤードモータが供給できれば、より末

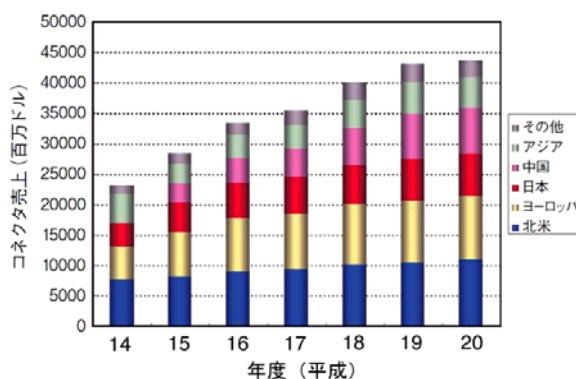
梢の血管、あるいは心臓の冠状動脈のように大きく湾曲しているような血管に対して、自在なカテーテル操作により患部までギヤードモータが到達し、治療・検査・診断が可能となる。また金属ガラスを用いた超小型マイクロギヤードモータは、世界的にも、技術的に本研究開発が先行しており、他に類をみない。直径1mm以下のギヤードモータの開発に成功すれば、世界の中で他社の追随を許さないオンリーワンの製品となると想定している。ギヤードモータとして他との競合はないと想定されるものの、市場の要求価格を見据えた価格競争力を強化する必要があり、比較的高価でも製品として受け入れられる医療機器分野を第一のターゲットとする。

以下、ノウハウ事項のため非公開とする。

#### IV. 1. 3. 高強度・高導電性電気接点部材の開発

平成20年度秋からの米国・サブプライムローン問題に起因する金融不況によって、欧米などで携帯電話、パソコンなど主要電子機器の販売鈍化により日系コネクタメーカーの出荷額はマイナス成長となってきた。平成21年度に入ってから、最盛期の4~5割の販売量となってきた。しかし各国、特に中国での国策によるデジタル家電製品や携帯電話の拡販や我国の経済対策により電子機器関連市場は、在庫の削減が進み、急速に回復し、福田金属箔粉工業の電子材料関係は、最盛期の8割程度まで市況が回復してきており、製品によっては、生産が追いつかない状況となってきた。ここで過去のコネクタの世界的需要は、図IV-5に示す世界のコネクタ売上の推移によると2005年下期から大きく上昇<sup>6)</sup>し、2008年には世界で400億ドルを越える市場まで成長したと予測<sup>7)</sup>されている。経済産業省の機械統計月報<sup>8)</sup>によると、国内においても2008年1月のコネクタ全体の生産個数は、23億個を超え、生産金額実績では、452億円を越えて前年同月比8.4%増<sup>9)</sup>となっている。

この背景は、コネクタが、携帯電話をはじめ、薄型テレビやデジタルカメラなどのデジタル家電、自動車など多彩な用途で使用されているためである。携帯電話やデジタル家電などは、機能やデザインが異なる少量多品種生産が常態化し、多品種の電子機器を効率よく設計、生産するには、回路の機能を切り分けて独立したモジュールとして、それぞれのモジュールをコネクタで接続する形態となってきた。たとえば、携帯電話の場合、通話、インターネット接続、カメラ機能などを基本基板として全地球測位システム（GPS）やワンセグ受信機能などオプションの機能に相当する部分を付加基板としてコネクタで接続する形態となっている。このように付加基板に実装する機能の組合せを変えるだけでさまざまなバリエーションを

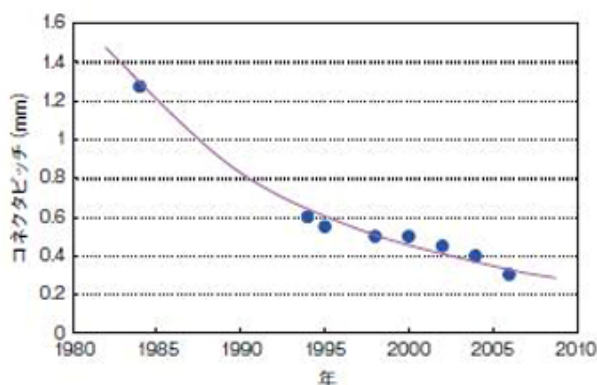


図IV-5 世界のコネクタ売上の推移



そろえることが出来る。また外部メモリスロット、パソコンや他のデジタル家電との接続に用いる USB (ユニバーサル・シリアル・バス) の実装も多く用いられており、コネクタの需要を高めている。またデジタル家電でも信号接続端子や外部メモリーカードのインターフェースを装備し、内部では HDD (ハードディスク駆動装置) や光ディスク装置の装備が標準化しつつあり、ますますコネクタの使用数が増加している。

携帯電話や携帯音楽プレーヤからデジタルビデオカメラ、ゲーム機などさまざまな電子機器の小型・軽量化が進んでいる。これらの機器では、電子回路の高集積化や部品の実装密度の向上などでデバイスの体積削減が行なわれ、コネクタも例外ではなく、確実な接続を保持しつつ狭ピッチ、低背、薄型化が求められ、開発が進められている。その例として図IV-6<sup>6)</sup>には、コネクタピッチの変遷を示す。



図IV-6 コネクタピッチの変遷<sup>6)</sup>

機器の小型化と共に高性能化、大容量データを処理するための高速伝送への対応や安全・快適な自動車などさまざまなニーズへの対応製品としてコネクタの開発が、今後も期待されている。

以下、ノウハウ事項のため非公開とする。

## IV. 2 今後の展望と波及効果

### IV. 2. 1. 次世代高密度磁気記録媒体の開発

現時点で検討されているパターンドメディアの作製技術は、次の4つに大別される。

- a. スパッタ等で成膜した磁性薄膜のエッチングによりドットパターンを形成
- b. 陽極酸化アルミナナノホールにめっき等の手法で磁性材料を充填
- c. スパッタ等で成膜した磁性材料をイオン注入で選択的に非磁性化し実効的ドットパターンを形成
- d. ノウハウ事項のため非公開とする。

a は現状で最も多くの研究機関が研究開発を進めている手法であるが、磁気記録媒体の量産技術としてはスループットが低いため、低コスト化が難しい。b は低コスト化が可能であるものの、ドットパターン精度向上のために更なるブレークスルーが必要と考えられている。c はイオン注入装置が高コストであることと、イオン注入という技術が磁気記録媒体の

量産技術として低スループットであることが懸念されている。以下、ノウハウ事項のため非公開とする。

#### IV. 2. 2. 超微小モータ用部材の開発

平成 20 年度までに実施してきた高強度・可塑性複合化金属ガラスの合金創製及び超々精密ギヤ等の開発の基盤研究の成果を基に、平成 21 年度から超微小モータ用部材の開発を助成事業としてスタートした。具体的には、基盤研究にて開発した超々精密歯車を用い、これを組み込んだ直径 0.9mm のマイクロギヤードモータの開発を行う。

以下、ノウハウ事項のため非公開とする。

#### IV. 2. 3. 高強度・高導電性電気接点部材の開発

本研究開発項目における今後の展望と波及効果について述べる。

- 1) 高強度・高導電性の材料をコネクタへの適用へ進めることに対して種々のコネクタの要求特性に合った材料の選定が必要で強度と導電性の特性だけでなく、伸びがありバネ特性に優れた材料の開発が必要である。そこで目標とするコネクタの種類を選定し、必要とする材料特性の更なる向上を行なう。そのためにコネクタメーカーとの連携が重要である。
- 2) 実用化への大きな課題として製造コストが低い必要がある。素形材のコストは使用する原料価格に影響されるが、量産効果により大幅なコストダウンが可能となる。その為、開発する材料系へ高価な貴金属や希少金属の使用を極力抑えることが必要である。またコネクタ用材料としての最終形態は、長尺なコイル状の薄板が必要であり、このような形状製品を作製する製造プロセスの開発も必要となる。
- 3) 実用化・事業化へは、実用化研究において材料の最適製造プロセスの開発が必要であるが、基盤研究では、コネクタが必要とする特性を持った材料開発とともに製造プロセスの適正化も検討する。

上述のように、コネクタの高密度・高性能化は高度情報化社会で必要不可欠と考えられる。高強度・高導電性材料の開発が、IT 関連分野のみならず自動車などの高速輸送機関のエレクトロニクス化への発展にも寄与するものと期待される。高強度・高導電性材料は、コネクタ分野だけでなくリレー、スイッチ、バッテリー端子などの電気部品や溶接用電極への展開、ならびに導電性と関係のある熱伝導性も優れていればヒートシンクや金型の放熱分野への展開も期待される。また本研究開発では、薄板状の高強度・高導電性の開発であるが、細線・ワイヤー状として強度と導電性が必要なケーブルやバネ材としての応用も考えられる。特に Be フリー高強度・高導電性材料が開発されることにより、環境問題とも関連し予想出来ないようなさまざまな展開も考えられる。

以下、ノウハウ事項のため非公開とする。

## V. 成果資料

### V. 1. 外部発表件数一覧

	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	合計
展示会	0	3	0	—	—	3
報道記事	0	0	0	—	—	0
論文・著書	6	20	1	—	—	27
口頭発表	31	39	3	—	—	73
特許出願	0	4	1	—	—	5

### V. 2. 各種展示会での成果の発表

(平成 19 年度)

無し

(平成 20 年度)

- 1) ナノテクノロジーと新金属材料（産学連携の新しいカタチ）、（早稲田大学ナノテクノロジーフォーラム、金属ガラスイノベーションフォーラム：共催）、早稲田大学 大久保キャンパス、2008 年 10 月 9～10 日。
- 2) nano tech 2009 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議“NEDO フォーラム”、(NEDO 主催)、東京ビッグサイト、2009 年 2 月 18 日～20 日。
- 3) 先進材料・新接合技術とその応用講演会（公開討論会）、（東北大学金属材料研究所、大阪大学接合研究所、東京工業大学応用セラミックス研究所主催）、東北大学片平さくらホール、2009 年 3 月 13 日。

(平成 21 年度)

無し

### V. 3. 報道記事等

(平成 19 年度)

無し

(平成 20 年度)

無し

(平成 21 年度)

無し

### V. 4. 論文リスト

#### (1)論文

(平成 19 年度)

- 1) M. Ohtake, K. Shikada, F. Kirino, and M. Futamoto: “Epitaxial growth of Co(0001)hcp/Fe(110)bcc magnetic bi-layer films on SrTiO<sub>3</sub>(0001) substrates”,

- Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 320(2008)3096-3099.
- 2) M. Ohtake, M. Futamoto, F. Kirino, N. Fujita, and N. Inaba: "Epitaxial growth of hcp/fcc Co bi-layer films on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0001) substrates", Journal of Applied Physic. 103, 07B522(2008).
  - 3) K. Shikada, K. Tabuchi, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Epitaxial Growth of Fe Thin Films on MgO Single-Crystal Substrates", Journal of the Magnetism Society of Japan, Vol.32, No.3, (2008) 296-303.
  - 4) Y. Yasui, K. Shimomai, and M. Futamoto: "Influence of Temperature and Magnetic Filed on Recorded Magnetization Structure of Perpendicular Recording Media", Journal of the Magnetism Society of Japan Vol. 33(2009), No. 1 pp.5-8.
  - 5) M. Ohtake, M. Futamoto, and F. Kirino: "Structure and Magnetic Properties of Fe/Au Epitaxial Multilayer Films", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.47, No.5, 2008, pp.3450-3455.
  - 6) A. Makino, T. Kubota, M. Makabe, C.T. Chang and A. Inoue: "FeSiBP Metallic Glasses with High Glass-Forming Ability and Excellent Magnetic Properties", Materials Science and Engineering B 148(2008)166-170.  
(平成 20 年度)
  - 7) N. Kaushik, P. Sharma, H. Kimura, A. Inoue, and A. Makino: "Exchange coupling in nanocomposite FePtB thin film magnets", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 103, 07E121 (2008).
  - 8) A. Makino, T. Kubota, C. Chang, M. Makabe, and A. Inoue: " Fe-metalloids bulk glassy alloys with high Fe content and high glass-forming ability", JOURNAL OF MATERIALS RESEARCH, Vol. 23, No. 5, May 2008.
  - 9) A. Makino, T. Kubota, C. Chang, M. Makabe, and A. Inoue: " FeSiBP bulk metallic glasses with high magnetization and excellent magnetic softness", JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS 320(2008) 2499-2503.
  - 10) A. Makino, A. Kazahari, W. Zhang, K. Yubuta, T. Kubota, and A.Inoue: " Synthesis of soft/hard magnetic FePt-based glassy alloys with supercooled liquid region", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 104, 103540(2008).
  - 11) S. Lee, H. Kato, T. Kubota, K. Yubuta, A. Makino, and A. Inoue: " Excellent thermal stability and bulk glass forming ability of Fe-B-Nb-Y soft magnetic metallic glass", MATERIALS TRANSACTIONS Vol.49 (2008), No.3 pp.506-512.
  - 12) Y. Nukaga, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Effects of Co/Sm Composition on the Ordered Phase Formation in Sm-Co Thin Films Grown on Cu(111) Single-Crystal Underlayers", IEEE Transactions on Magnetism, vol.44, no.11,November 2008,pp.2891-2894.

- 13) M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, and M. Futamoto: "Epitaxial Growth of SmCo<sub>5</sub>(0001) Thin Films on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0001) Single Crystal Substrates", *Journal of Crystal Growth*, 311, 2251-2254(2009).
- 14) K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Microstructure and magnetic properties of FeCo epitaxial thin films grown on MgO single-crystal substrates", *Journal of Applied Physics*, vol.105, 07C303(2009).
- 15) M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, and M. Futamoto: "Preparation and structure characterization of SmCo<sub>5</sub>(0001) epitaxial thin films grown on Cu(111) underlayers", *Journal of Applied Physics*, vol.105, 07C315(2009).
- 16) T. Nishiyama, K. Tanaka, K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Epitaxial Growth of Ni Thin Films on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Single-Crystal Substrates", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol.48 (2009) 013003.
- 17) K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Structure and Magnetic Properties of FeCo Epitaxial Thin Films", *Journal of Magnetism Society of Japan*, 33, 85-94 (2009).
- 18) T. Yoshimura, S. Ohshika, and M. Futamoto: "Influence of External Magnetic Field on the Magnetization Structure of Perpendicular Recording Media", *Journal of Magnetism Society of Japan*, 33, 199-203 (2009).
- 19) M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, and M. Futamoto: "Epitaxial Growth and Structure Analysis of SmCo<sub>5</sub>(0001) Thin Films", *IEICE Technical Report MR2008-20(2008-10)*.
- 20) T. Nishiyama, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Effect of fcc Underlayer on the Formation of Ni(111) Epitaxial Thin Films", *IEICE Technical Report MR2008-21(2008-10)*.
- 21) K. Shikada, T. Nishiyama, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Microstructure Analysis of FeCo Epitaxial Thin Films Grown on Single-Crystal Substrates", *IEICE Technical Report MR2008-23(2008-10)*.
- 22) K. Tabuchi, T. Tanaka, K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Structure and Magnetic Properties of Fe Thin Films Epitaxially Grown on SrTiO<sub>3</sub> Single-Crystal Substrates", *IEICE Technical Report MR2008-22(2008-10)*.
- 23) Y. Nukaga, M. Ohtake, M. Futamoto, F. Kirino, N. Fujita and N. Inaba: "Structure and Magnetic Properties of Co Epitaxial Thin Films Grown on MgO Single-Crystal Substrate", *IEEE Transactions of Magnetism*, vol.45, no.6(2009) pp.2519-2522.
- 24) T. Tanaka, M. Ohtake, M. Futamoto, F. Kirino and N. Inaba: "Preparation and Characterizations of NiFe Epitaxial Thin Films Grown on SrTiO<sub>3</sub>(100) and MgO(100) Single-Crystal Substrate", *IEEE Transactions of Magnetism*, vol.45,

no.6(2009) pp.2515-2518.

(平成 21 年度)

- 25) K. Takenaka, T. Sugimoto, N. Nishiyama, A. Makino, Y. Saotome and A. Inoue: "Structure, morphology and magnetic properties of Fe-B-Si-Nb glassy alloy thin film prepared by a pulsed laser deposition method", Mater. Lett., accepted.

## (2) 総説、解説、著書

(平成 19 年度)

無し

(平成 20 年度)

- 1) バルク金属ガラスの材料科学と工学, 井上明久 監修, シーエムシー出版, 東京 (2008).
- 2) 新機能材料 金属ガラスの基礎と産業への応用, 井上明久 監修, テクノシステム, 東京 (2009).

(平成 21 年度)

無し

## V. 5. 口頭発表リスト

### (1) 海外口頭発表リスト

(平成 19 年度)

- 1) A. Makino, T. Kubota, M. Makabe, C.T. Chang, and A. Inoue: "FeSiBP Metallic Glasses with High Glass-Forming Ability and Excellent Magnetic Properties", ISMANAM2007 (Greece), Aug.27, 2007.
- 2) N. Nishiyama, N. Togashi, H. Kato, Y. Saotome, and A. Inoue: "Utilization of Metallic glasses for Application of Micro-forming to Nano-imprinting by Their Viscous Flow Behavior", ISMANAM2007 (Greece), Aug.30, 2007.
- 3) N. Togashi, N. Nishiyama, M. Ishida, H. Takeda, Y. Shimizu, Y. Saotome, and A. Inoue: "Wear resistibility of Metallic Glasses under Lubrication", ISMANAM2007 (Greece), Aug.30, 2007.
- 4) Y. Saotome, H. Miyasaka, K. Arai, H. Kimura, and A. Inoue: "Superplastic Microforming of Zr-based Metallic Glass at High Strain Rate under Rapid Heating", ISMANAM2007 (Greece), Aug.30, 2007.
- 5) A. Makino, T. Kubota, H. Men, K. Yubuta, and A. Inoue: "Fe-Based Hetero-Amorphous Alloy with High Fe Content Exceeding the Limit for the Formation of a Single Amorphous Phase", ANMM 2007(Romania), Aug. 31, 2007.
- 6) A. Makino, T. Kubota, M. Makabe and A. Inoue: "Fe-Based Metallic Glasses with High Magnetization and Excellent Magnetic Softness", SMM 18(UK), Sept. 3, 2007.

- 7) Y. Saotome, K. Amiya, A. Urata, A. Makino, N. Nishiyama, W. Yamagishi, E. Makabe, H. Kimura, and A. Inoue: "Fabrication of metallic nanostructures by nanoimprint of metallic glasses for patterned media", NTT'07 (France), Oct.11, 2007.
  - 8) M. Ohtake, M. Futamoto, F. Kirino, N. Fujita, and N. Inaba: "Epitaxial growth of hcp/fcc Co bi-layer films on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0001) substrates", 2007MMM Conference (USA) , Nov. 9, 2007.
  - 9) Y. Saotome and A. Inoue: "Nanoimprint of Metallic glass as a magnetic material", MRS (USA), Nov. 27, 2007.
  - 10) N. Togashi, Y. Saotome, N. Nishiyama, and A. Inoue: "Wear resistance of the Ni-based metallic glasses", BMG-Europe 2007(France), Dec.3, 2007.
  - 11) N. Nishiyama, N. Togashi, K. Takenaka, A. Tejima, and A. Inoue: "Industrialization of bulk metallic glasses, at present and future prospect", BMG-Europe 2007(France), Dec.4, 2007.
  - 12) T. Wada and A. Inoue: "Preparation and Mechanical Properties of Pd-based Porous Bulk Glassy Alloys", 2nd International Symposium on NANO and AMORPHOUS MATERIALS (Korea) , Dec.12-13, 2007.
  - 13) H. Kato, H.S.Shen, and A. Inoue: "Implication of the thermal expansion coefficient on T<sub>g</sub> in metallic glass", 2nd International Symposium on NANO and AMORPHOUS MATERIALS (Korea) , Dec.13, 2007.
  - 14) N. Nishiyama, N. Togashi, Y. Saotome, and Akihisa Inoue: "Temperature and Magnetic Field Effect on the Magnetization Structure of High-Density Magnetic Recording Media", 2008 TMS Annual Meeting & Exhibition (USA) , March 11, 2007.
  - 15) N. Togashi, Y. Saotome, N. Nishiyama, and A. Inoue: "Sliding Wear Resistance of the Ni-Based Metallic Glass", 2008 TMS Annual Meeting & Exhibition (USA) , March 13, 2007.
- (平成 20 年度)
- 16) Y. Nukaga, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Effects of Sm/Co composition on the ordered phase formation in Sm-Co films grown on Cu(111) single-crystal underlayers", 2008 Intermag Conference (Spain), May 6, 2008.
  - 17) Xue Li, Chuntao Chang, Chunlin Qin, Akihiro Makino, and Akihisa Inoue: "Effect of Cr addition on the properties of (Fe<sub>0.76</sub>P<sub>0.048</sub>B<sub>0.096</sub>Si<sub>0.096</sub>)<sub>100-x</sub>Cr<sub>x</sub> (x=0~6 at %) bulk metallic glasses: the glass-forming ability, magnetic, mechanical and corrosion properties", BMGVI(China), May 12, 2008.
  - 18) C.T. Chang, T. Kubota, A. Makino, and A. Inoue: "Effect of Nb addition on glass-forming in FeBSiP bulk glassy alloys with super-high strength and good soft-magnetic properties", BMGVI (China), May 12, 2008.



- 19) S. Lee, H. Kato, T. Kubota, A. Makino, and A. Inoue: “Fabrication and soft-magnetic properties of Fe-B-Nb-Y gas-atomized powder compacts by spark plasma sintering technique”, BMGVI(China), May 12, 2008.
- 20) Y. Hirotsu and A. Hirata: “Medium Range Order Structures in Fe-based Metallic Glasses Studied by Nano-Beam Electron Diffraction and HREM”, BMGVI (China), May 13, 2008.
- 21) T. Kubota, C. Chang, A. Makino, and A. Inoue: “Magnetic Properties of FeSiBP Bulk Ring with High Glass-forming Ability”, BMGVI (China), May 14, 2008.
- 22) K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: “Epitaxial Growth of FeCo Thin Films on MgO Single-Crystal Substrates”, Joint International Conference, Materials for Electrical Engineering (Romania), June 16, 2008.
- 23) Y. Nukada, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: “Structure and magnetic properties of Co/X (X=Au, Ag, Cu) Bi-layer Films Grown on MgO(110) Single-Crystal Substrates”, Joint International Conference, Materials for Electrical Engineering (Romania), June 16, 2008.
- 24) H. Kato, H. S. Chen, and A. Inoue: “Correlation Between Thermal Expansion Coefficient and  $T_g$  of Metallic Glasses”, The 13<sup>th</sup> International Conference on Rapidly Quenched & Metastable Materials (RQ13) (Germany), Aug. 25, 2008.
- 25) N. Togashi, K. Yamamoto, Y. Sinpo, M. Nishida, N. Nishiyama, Y. Saotome, and A. Inoue: “Mechanical and Electrical properties of the Glassy Alloy Composites”, RQ13 (Germany), Aug. 26, 2008.
- 26) M. Shibata, K. Amiya, Y. Saotome, A. Makino, N. Nishiyama, and A. Inoue: “Nano-imprintability of Fe-based glassy alloy”, RQ13 (Germany), Aug. 26, 2008.
- 27) K. Takenaka, T. Sugimoto, N. Nishiyama, A. Makino, and A. Inoue: “Structure and Soft Magnetic Properties of Fe-based Glassy Alloy Thin Film”, RQ13 (Germany), Aug. 26, 2008.
- 28) N. Nishiyama, N. Togashi, K. Takenaka, Y. Saotome, and A. Inoue: “Advantages of Glassy Alloy Composites for Industrial Applications”, RQ13 (Germany), Aug. 28, 2008.
- 29) K. Tanaka, M. Ohtake, F. Kirino, N. Inaba, and M. Futamoto: “Structure and magnetic properties of Ni and NiFe thin films epitaxially grown on MgO(100) single-crystal substrate”, 53rd Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM-2008) (USA) , Nov.13, 2008.
- 30) K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: “Microstructure and magnetic properties of FeCo epitaxial thin films grown on MgO single-crystal substrates”, 53rd Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM-2008) (USA) ,

Nov.13, 2008.

- 31) K. Shimomai, Y. Yasui, and M. Futamoto: "Effect of Magnetic Field and Temperature on the Variation of Magnetization Structure Observed for High-Density Longitudinal Recording Media", Joint International Conference, Materials for Electrical Engineering (Romania), June 16, 2008.
- 32) T. Nishiyama, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Epitaxial Growth of Ni(111) Thin Films", Joint International Conference, Materials for Electrical Engineering (Romania), June 16, 2008.
- 33) M. Ohtake, M. Futamoto, F. Kirino, N. Fujita, and N. Inaba: "Effect of Underlayer on the Structure and the Magnetic Properties of Co Epitaxial Thin Films Grown on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0001) Substrates", Joint International Conference, Materials for Electrical Engineering (Romania), June 16, 2008.
- 34) M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, and M. Futamoto: "Effects of Substrate Temperature and Cu Underlayer Thickness on the Formation of SmCo<sub>5</sub> Epitaxial Thin Films on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0001) Single-Crystal Substrates," Asian Magnetism Conference (Korea) , Dec. 10-13, 2008.

(平成 21 年度)

無し

## (2) 国内開催国際会議等口頭発表

(平成 19 年度)

- 1) Y. Yasui, K. Shimomai, and M. Futamoto: "Temperature and magnetic field effect on the magnetization structure of high-density magnetic recording media", PMRC-2007(Tokyo), Oct. 16, 2007.
- 2) M. Ohtake, K. Shikada, F. Kirino, and M. Futamoto: "Epitaxial growth of Co(0001)<sub>hcp</sub>/Fe(110)<sub>bcc</sub> magnetic bi-layer films on SrTiO<sub>3</sub>(0001) substrates", PMRC-2007(Tokyo), Oct. 16, 2007.

(平成 20 年度)

- 3) N. Nishiyama, N. Togashi, K. Takenaka, Y. Saotome, and A. Inoue: "Novel Applications of Glassy Alloy Composites", The IUMRS International Conference in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008) (Nagoya), Dec. 12, 2008.
- 4) T. Myo, T. Kubota, A. Makino, and A. Inoue: "Annealing Effect on Soft Magnetic Properties of Fe<sub>76</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>10</sub>P<sub>5</sub> Glassy Alloys", IUMRS-ICA 2008(Nagoya), Dec. 10.

(平成 21 年度)

無し

## (3) 国内口頭発表

(平成 19 年度)

- 1) 下舞恵介、安井佑介、二本正昭: “高密度磁気記録媒体の磁化状態に及ぼす環境の影響”, 第 68 回応用物理学会学術講演会, 2007 年 9 月 7 日.
- 2) 鹿田昂平、田淵健司、大竹 充、桐野文良、二本正昭: “fcc (111) 下地上に形成したエピタキシャル Fe 薄膜の微細構造および磁気特性”, 第 68 回応用物理学会学術講演会, 2007 年 9 月 7 日.
- 3) 田淵健司、鹿田昂平、大竹 充、二本正昭: “エピタキシャル Fe/X (X=Cu,Ag,Au) 多層膜の電気および磁気特性”, 第 68 回応用物理学会学術講演会, 2007 年 9 月 7 日.
- 4) 大竹 充、桐野文良、二本正昭: “MgO (011) 基板上に形成したエピタキシャル Fe<sub>0</sub>.X (X=Cu,Ag,Au) 多層膜の構造と磁気特性” 第 68 回応用物理学会学術講演会, 2007 年 9 月 7 日.
- 5) 安井佑介、下舞恵介、二本正昭: “外部環境が垂直磁気記録媒体の磁化状態に及ぼす影響”, 第 31 回日本応用磁気学会学術講演会, 2007 年 9 月 13 日.
- 6) 大竹 充、鹿田昂平、桐野文良、二本正昭: “エピタキシャル Fe/Au 多層膜の構造と磁気特性”, 第 31 回日本応用磁気学会学術講演会, 2007 年 9 月 13 日.
- 7) 鹿田昂平、田淵健司、大竹 充、桐野文良、二本正昭: “酸化物単結晶基板上における Fe 薄膜のエピタキシャル成長”, 第 31 回日本応用磁気学会学術講演会, 2007 年 9 月 13 日.
- 8) 西山信行、Y.Q.Zeng、D.Pan、加藤秀実、井上明久: “MRO 領域を分散した Ni-Pd-P 系ガラス合金の組織と機械的性質”, 日本金属学会 2007 年秋季大会, 2007 年 9 月 19 日.
- 9) 加藤秀実、五十嵐仁、井上明久: “金属ガラスの降伏歪の温度依存性と合金系による変化”, 日本金属学会 2007 年秋季大会, 2007 年 9 月 19 日.
- 10) 富樫 望、西山信行、石田 央、竹田英樹、清水幸春、早乙女康典、井上明久: “潤滑状態における金属ガラスの耐摩耗性”, 日本金属学会 2007 年秋季大会, 2007 年 9 月 19 日.
- 11) 網谷健児、早乙女康典、西山信行、浦田顕理、井上明久: “Fe-Ga- (P, C, B, Si) 系金属ガラスの粘性流動を用いた微細構造転写”, 日本金属学会 2007 年秋季大会, 2007 年 9 月 19 日.
- 12) 早乙女康典: “State of the art in micro forming”, 第 58 回塑性加工連合講演会, 2007 年 10 月 26 日.
- 13) 網谷健児、早乙女康典、西山信行、浦田顕理、井上明久: “Nano-imprint of Fe-based metallic glass as a magnetic material”, 第 58 回塑性加工連合講演会, 2007 年 10 月 26 日.
- 14) 柴田昌紀、早乙女康典、西山信行、網谷健児、牧野彰宏、井上明久: “Fe 基金属ガラスのナノインプリント特性”, 第 15 回機械材料、材料加工技術講演会, 2007 年 11 月 17 日.

(平成 20 年度)

- 15) 田中孝浩、西山 努、鹿田昂平、大竹 充、桐野文良、二本正昭: “MgO 単結晶基板上における Ni 薄膜のエピタキシャル成長”, 第 55 回応用物理学会学術講演会, 2008 年 3 月 29 日.
- 16) 額田友里、大竹 充、桐野文良、二本正昭: “MgO 単結晶基板上における Co 薄膜のエピタキシャル成長”, 第 55 回応用物理学会学術講演会, 2008 年 3 月 29 日.
- 17) 西山 努、田中孝浩、鹿田昂平、大竹 充、桐野文良、二本正昭: “酸化物単結晶基板上における Ni(111)薄膜のエピタキシャル成長”, 第 55 回応用物理学会学術講演会, 2008 年 3 月 29 日.
- 18) 名生達哉、久保田 健、牧野彰宏、井上明久: “Fe-Si-B-P 系バルク金属ガラスの作製とその磁氣的性質”, 日本金属学会 2008 年秋期 (第 143 回) 大会, 2008 年 9 月 23 日.
- 19) T. Tanaka, N. Nishiyama, K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: "Epitaxial Growth of Ni Thin Films on MgO Single-Crystal Substrates," 2008 年春季第 55 回応用物理学会学術講演会, 27a-A-2, 船橋, 2008 年春季 第 55 回応用物理学会学術講演会予稿集, p. 765, 2008
- 20) 李相旻、加藤秀実、久保田 健、木村久道、牧野彰宏、井上明久: “Displacement Behavior Study for Stress Effect on Early Viscous Flow Nature of Fe-B-Nb-Y Metallic Glassy Powder on Spark Plasma Sintering”, 日本金属学会 2008 年秋期 (第 143 回) 大会, 2008 年 9 月 24 日.
- 21) M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, and M. Futamoto: “Epitaxial Growth and Structure Analysis of SmCo<sub>5</sub>(0001) Thin Films”, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会, Oct. 9, 2008.
- 22) T. Nishiyama, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: “Effect of fcc Underlayer on the Formation of Ni(111) Epitaxial Thin Films”, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会, Oct. 9, 2008.
- 23) K. Shikada, T. Nishiyama, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: “Microstructure Analysis of FeCo Epitaxial Thin Films Grown on Single-Crystal Substrates”, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会, Oct. 9, 2008.
- 24) K. Tabuchi, T. Tanaka, K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto: “Structure and Magnetic Properties of Fe Thin Films Epitaxially Grown on SrTiO<sub>3</sub> Single-Crystal Substrates”, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会, Oct. 9, 2008.
- 25) 新保洋一郎、西田元紀、富樫 望、西山信行、早乙女康典、井上明久: “粉末冶金法を用いた電気接点用 Cu 基複合化金属ガラスの作製と評価”, 粉体粉末冶金協会, 平成 20 年秋季大会 2008 年 11 月 7 日.
- 26) 西田元紀、新保洋一郎、富樫 望、西山信行、早乙女康典、井上明久: “粉末冶金法を

用いた電気接点用Ni基複合化金属ガラスの作製と評価”, 粉末冶金協会, 平成20年秋季大会 2008年11月7日.

- 27) 西山信行、竹中佳生、富樫 望、牧野彰宏、早乙女康典、井上明久: “Fe基金属ガラス薄膜の軟磁気特性と粘性流動加工性”, 日本金属学会 2009年春期(第144回)大会, 2009年3月28-30日.
- 28) 宮川 智、新保洋一郎、西田元紀、富樫 望、西山信行、早乙女康典、木村久道、井上明久: “押出法を用いたCu基およびZr基金属ガラスと純銅の複合材料の作製と評価”, 日本金属学会 2009年春期(第144回)大会, 2009年3月30日.
- 29) 三浦晴子、西山信行、西田元紀、木村久道、早乙女康典、井上明久: “金属ガラス成分則を利用した電気接点用Cu基非平衡結晶合金の導電性と機械的性質”, 日本金属学会 2009年春期(第144回)大会, 2009年3月28-30日.
- 30) 竹中佳生、富樫 望、西山信行、牧野彰宏、早乙女康典、井上明久: “パルスレーザーデポジション法による金属ガラス薄膜の作製と性質”, 日本金属学会 2009年春期(第144回)大会, 2009年3月28-30日.
- 31) 新保洋一郎、宮川 智、西田元紀、富樫 望、西山信行、早乙女康典、井上明久: “粉末冶金法を用いた電気接点用複合化金属ガラスの作製と評価”, 日本金属学会 2009年春期(第144回)大会, 2009年3月30日.
- 32) 富樫望、清水幸春、早乙女康典、井上明久: “潤滑状態における金属ガラスの摩耗挙動”, 日本金属学会 2009年春期(第144回)大会, 2009年3月28-30日.

(平成21年度)

- 33) 新保洋一郎、宮川 智、西田元紀、三浦晴子、西山信行、早乙女康典、木村久道、井上明久: “押出法を用いたZr基複合化金属ガラスの作製と評価(1)”, 粉体粉末冶金協会, 平成21年春季大会 2009年6月2-4日.
- 34) 西田元紀、宮川 智、新保洋一郎、三浦晴子、西山信行、早乙女康典、木村久道、井上明久: “押出法を用いたZr基複合化金属ガラスの作製と評価(2)”, 粉体粉末冶金協会, 平成21年春季大会 2009年6月2-4日.
- 35) 宮川 智、新保洋一郎、西田元紀、三浦晴子、西山信行、早乙女康典、木村久道、井上明久: “押出法を用いたCu基複合化金属ガラスの作製と評価”, 粉体粉末冶金協会, 平成21年春季大会 2009年6月2-4日.

## V. 6. 受賞リスト

- 1) K. Takenaka, RQ13 Best Poster Award, RQ13 (Germany), Aug. 26, 2008.

## V. 7. 特許出願リスト

(平成19年度)

無し

(平成 20 年度)

- 1) 特許公開前のため非公開とする。
- 2) 特許公開前のため非公開とする。
- 3) 特許公開前のため非公開とする。
- 4) 特許公開前のため非公開とする。

(平成 21 年度)

- 5) 特許公開前のため非公開とする。

## VI. 引用文献・参考文献リスト

### 【 I 章の参考文献】

### 【 II 章の参考文献】

### 【 III 章の参考文献】

- 1) A. Inoue, *Acta Mater.*, **48**, (2000) 279-306.
- 2) Y. D. Liu, S. Hata, K. Wada and A. Shimokohbe, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**, (2001) 5382-5388.
- 3) P. Sharma, H. Kimura, A. Inoue, E. Arenholz and J. H. Guo, *Phys. Rev. Lett.*, **B73**, (2006) 052401.
- 4) Y. Saotome, K. Itoh, T. Zhang and A. Inoue, *Scripta Mater.*, **44**, (2001) 1541-1545.
- 5) Y. Saotome, Y. Noguchi, T. Zhang and A. Inoue, *Mater. Sci. Eng.*, **A375-377**, (2004) 389-393.
- 6) G. Kumar, H. X. Tang and J. Schroers, *Nature*, **45**, (2009) 868-872.
- 7) P. R. Willmott and J. R. Huber, *Rev. Mod. Phys.*, **72**, (2000) 315-328.
- 8) A. Inoue and J. S. Gook, *Mater. Trans., JIM*, **36**, (1995) 1180-1183.
- 9) A. Inoue and J. S. Gook, *Mater. Trans., JIM*, **37**, (1996) 32-38.
- 10) A. Inoue and B. L. Shen, *Mater. Trans., JIM*, **43**, (2002) 766-769.
- 11) A. Inoue and B. L. Shen, *Mater. Trans., JIM*, **43**, (2002) 2350-2353.
- 12) M. Hagiwara, A. Inoue and T. Masumoto, *Met. Trans.*, **A13**, (1982) 373-382.
- 13) K. Amiya, A. Urata, N. Nishiyama and A. Inoue, *J. Appl. Phys.*, **97**, (2005) 10F913.
- 14) A. Hirata, Y. Hirotsu, K. Amiya, N. Nishiyama and A. Inoue, *Intermetallics*, **16** (2008) 491-497.
- 15) T. Yoshitake, G. Shiraishi and K. Nagayama, *J. J. Appl. Phys.*, **41**, (2002) 836-837.
- 16) A. Kikukawa et al., *IEEE Trans. Magn.*, **36**, (2000) 2402-2404.
- 17) A. Kikukawa et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, **235**, (2001) 68-72.
- 18) K. Takahashi et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, **242-245**, (2002) 325-327.
- 19) A. Kikukawa et al., *IEEE Trans. Magn.*, **37**, (2001) 1602-1604.
- 20) A. Inoue, T. Zhang and T. Masumoto, *J. Non-cryst. Solids*, **156-158**, (1993) 473-480.
- 21) A. Inoue, K. Ohtera, K. Kita and T. Masumoto, *J. J. Appl. Phys.*, **27**, (1989) L2248-L2251.
- 22) A. Inoue and T. Zhang, *Mater. Trans., JIM*, **37**, (1996) 185-187.
- 23) A. Inoue, N. Nishiyama and H. Kimura, *Mater. Trans., JIM*, **38**, (1997) 179-183.
- 24) W. Zhang, Q. Zhang, C. Qin and A. Inoue, *Mater. Sci. Eng.*, **B148**, (2008) 92-96.
- 25) G. G. Stoney, *Proc. Royal Soc. London*, **A82**, (1909) 172-175.



- 26) T. D. Shen and R. B. Schwarz, Appl. Phys. Lett., **75**, (1999) 49-51.
- 27) H. Fujimori, K. I. Arai, H. Shirae, H. Saito, T. Masumoto and N. Tsuya, J. J. Appl. Phys., **15**, (1976) 705-706.
- 28) S. Ohnuma and T. Masumoto, Rapid Quenched Metals III, (1978) 197.
- 29) K. Amiya, A. Urata, N. Nishiyama and A. Inoue, J. Appl. Phys., **101**, (2007) 09N112.
- 30) S. Iwasaki and Y. Nakamura, IEEE Trans. Mag., **MAG-13**, (1977) 1272-1277.
- 31) R. Wood, IEEE Trans. Magn., **36**, (2000) 36-42.
- 32) Y. Tanaka, A. Takeo and T. Hikosaka, IEEE Trans. Magn., **38**, (2002) 68-71.
- 33) T. Suzuki, Mater. Trans., **44**, (2003) 1535-1541.
- 34) P. F. Carcia, A. P. Meinhaldt and A. Suna, Appl. Phys. Lett., **47**, (1985) 178-180.
- 35) P. F. Carcia, J. Appl. Phys., **63**, (1988) 5066-5073.
- 36) 本多直樹, 大内一弘, 素材物性学会雑誌, **19**, (2006) 18-24.
- 37) P. F. Carcia, S. I. Shah and W. B. Zeper, Appl. Phys. Lett., **56**, (1990) 2345-2347.
- 38) S. Hashimoto, Y. Ochiai and K. Aso, J. J. Appl. Phys., **28**, (1989) 1596-1599.
- 39) S. Tsunashima, M. Hasegawa, K. Nakamura and S. Uchiyama, J. Magn. Magn. Mater., **93**, (1991) 465-468.
- 40) Y. Saotome, K. Imai, S. Shioda, S. Simuzu, T. Zhang and A. Inoue, Intermetallics., **10**, (2002) 1241-1247.
- 41) ナノインプリントの開発と応用, 松井真二 古室昌徳 監修, シーエムシー出版 (2005) p.114.
- 42) セイコーインスツル株式会社 ホームページ, 製品ラインナップ, < <http://www.siint.com/products/fib/SMI3050.html> >
- 43) セイコーインスツル株式会社 ホームページ, 製品ラインナップ, < [http://www.siint.com/products/tem\\_sem/ULTRA55.html](http://www.siint.com/products/tem_sem/ULTRA55.html) >
- 44) セイコーインスツル株式会社 ホームページ, 製品ラインナップ, < <http://www.siint.com/products/spm/S-image.htm> >, < [http://www.siint.com/products/spm/NanoNavi\\_II.html](http://www.siint.com/products/spm/NanoNavi_II.html) >および< <http://www.siint.com/products/spm/E-sweep.html> >
- 45) N. Nishiyama, M. Horino and A. Inoue, Mater. Trnas., *JIM*, **41**, (2000) 1432-1434.
- 46) Y. Saotome, K. Imai and N. Sawanobori, J. Mater. Proc. Tech.,**140**, (2003) 379-384.
- 47) 例えば、藪崎こずえ, 佐々木宏和, 古河電工技法, **110**, (2002) 77-82
- 48) サムコ株式会社 ホームページ, 製品, < <http://www.samco.co.jp/products/rie-10nr.html> >
- 49) S. Matsui, T. Kaito, J. Fujita, M. Komuro, K. Kanda and Y. Haruyama: J. Vac. Sci. Technol. B., **18**, (2000) 3181-3184.
- 50) Y. Kogo, N. Sakamoto, T. Yagi, T. Yasuno, J. Taniguchi, and I. Iwamoto: J. Soc.

- Mat. Sci., **54**, (2005) 987-992.
- 51) 例えば、アリオス株式会社 ホームページ, 資料館, < <http://www.arios.co.jp/library/p8.html> >
- 52) 徳山巍: 半導体ドライエッチング技術, 産業図書株式会社, (1992) p.84.
- 53) A.P Mousinho, R.D. Masanao, M. Massi, J.M. Jaramillo: *Diamond and Related Materials*, **12**, (2003) 1041-1044.
- 54) バルク金属ガラスの材料科学と工学, 井上明久 監修, シーエムシー出版 (2008) p.323.
- 55) S. Y. Chou *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **67**, (1995) 3114-3116.
- 56) S. Y. Chou *et al.*, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B15**, (1997) 2897-2904.
- 57) National Science and Technology Council (NTSC), National Nanotechnology Initiative: The Initiative and Its Implementation Plan, June 2000.
- 58) 例えば、NED ホームページ よくわかる! 技術解説 用語解説, ナノテクノロジー, < <http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/nan/na00/index.html> >
- 59) R. Feynman, "The Pleasure of Finding Things Out", Chap. 5, Penguin Books, NewYork (1999).
- 60) H. S. Chen and D Turnbull, *J. Chem. Phys.*, **48**, (1968) 2560-2571.
- 61) 井上明久, 増本健, アモルファス合金の簡単な成形法, *金属*, **62**, No. 6, (1992) 21-26  
あるいは, 増本健, アモルファス金属のお話 (改訂版), 日本規格協会 (2003), pp.107.
- 62) A. Inoue, N. Nishiyama and T. Matsuda, *Mater. Trans., JIM*, **37**, (1996) 181-184.
- 63) Y. Saotome, T. Hatori, T. Zhang and A. Inoue, *Mater. Sci. Eng.*, **A304-306**, (2001) 716-720.
- 64) Y. Saotome, S. Miwa, T. Zhang and A. Inoue, *J. Mater. Processing Tech.*, **113**, (2001) 64-00.
- 65) K. Takashima, Y. Higo, S. Sugiura and M. Shimojo, *Mater. Trans.*, **42**, (2001) 68-00.
- 66) Y. Yokoyama, T. Fukushige, S. Hata, K. Masu and A. Shimokohbe, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **42**, (2003) 2190-0000.
- 67) P. Sharma, W. Zhang, K. Amiya, H. Kimura and A. Inoue, *J. Nanotech.*, **5**, (2005) 416-420.
- 68) S.Y. Chou, M. S. Wei, P. R. Krauss and P. B. Fischer, *J. Appl. Phys.*, **76**, (1994) 6673-6675.
- 69) P. Sharma, N. Kaushik, H. M. Kimura, Y. Saotome and A. Inoue, *Nanotechnology.*, **18**, (2007) 035302.
- 70) ナノインプリントの開発と応用, 松井真二 古室昌徳 監修, シーエムシー出版 (2005) pp.92.あるいは Nanonex ホームページ, < <http://www.nanonex.com/products.htm> >
- 71) ナノインプリントの開発と応用, 松井真二 古室昌徳 監修, シーエムシー出版 (2005)

pp.7.

- 72) 「ナノインプリント技術の調査」報告書, (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 平成 16 年度 pp.10, < <http://www.tech.nedo.go.jp/PDF/100005611.pdf> >
- 73) 丸紅情報システムズ ホームページ, < <http://www.marubeni-sys.com/mems/nanoimprint/nl273.html> >
- 74) 例えば、R. Busch, E. Bakke and W. L. Johnson, *Acta Mater.* **46**, (1998) 4725-4732.
- 75) N. Nishiyama and A. Inoue, *Mater. Trans., JIM* **40**, (1999) 64-71.
- 76) H. S. Chen, H. Kato and A. Inoue, *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, (2000) 1808-1811.
- 77) 例えば、NTT アドバンステクノロジー ホームページ, ナノインプリント用モールド, < [http://keytech.ntt-at.co.jp/nano/prd\\_0029.html](http://keytech.ntt-at.co.jp/nano/prd_0029.html) >
- 78) 上野友典, 他, 日立金属技報, Vol. **23** (2007) 51-56
- 79) 二本正昭, 大竹充, *Japan Patent Kokai* 2009-26394 (2009.02.05).
- 80) CMP のサイエンス, 柏木正弘 編集, サイエンスフォーラム(1997) p.37.
- 81) エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社ホームページ, < [http://www.siint.com/product/spm/tec\\_mode/11\\_mfm.html](http://www.siint.com/product/spm/tec_mode/11_mfm.html) >
- 82) エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社ホームページ, < [http://www.siint.com/product/spm/tec\\_mode/1\\_pm.html](http://www.siint.com/product/spm/tec_mode/1_pm.html) >
- 83) エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社ホームページ, < [http://www.siint.com/product/spm/tec\\_mode/12\\_activeQ.html](http://www.siint.com/product/spm/tec_mode/12_activeQ.html) >
- 84) 例えば、走査プローブ顕微鏡－正しい実験とデータ解析のために必要なこと－, 実験物理科学シリーズ 6, 重川秀実, 吉村雅満, 河津璋 責任編集, 共立出版, 2009.
- 85) J. Kerr, *Philo. Mag.*, **3**, (1877) 321-343.
- 86) 例えば、財団法人マイクロマシンセンター ホームページ, マイクロマシン技術研究開発プロジェクト, < <http://www.mmc.or.jp/mmpj/> >
- 87) 総合科学技術会議 ホームページ, 第 2 期科学技術基本計画, < <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/kihon.html> >
- 88) 例えば、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ホームページ, 事業・プロジェクト紹介, < <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/gaiyou/p02014/p02014.html> >
- 89) 石田央, 西山信行, 清水幸春, 早乙女康典, 井上明久, までりあ, **45**, (2006) 138-140.
- 90) C. C. Hays, C. P. Kim and W. L. Johnson, *Mater. Sci. Eng.*, **A304-306**, (2001) 650-655.
- 91) 例えば、J. J. Gilman, *J. Appl. Phys.*, **46**, (1975) 1625-1633., T Masumoto, *Sci. Rep. RITS.*, **A-26**, (1977) 246-262., H. S. Chen, *Rep. Prog. Phys.*, **43**, (1980) 353-432.あるいは C. A. Pampillo, *J. Mater. Sci.*, **10**, (1975) 1194-1227.
- 92) A. Inoue, T. Nakamura, T. Sugita, T. Zhang and T. Masumoto, *Mater. Trans., JIM*,

- 34**, (1993) 351-358.
- 93) A. Inoue, B. L. Shen, H. Koshiba, H. Kato and A. R. Yavari, *Nature Mater.*, **21**, (2003) 661-663.
- 94) 例えば、E. Orowan, *Nature*, **149**, (1942) 643-644.
- 95) R. Tominaga, K. Amiya, A. Tokairin, Y. Fujimoto, S. Takahashi and A. Inoue: *J. Metastable and Nanocryst. Mater.*, **24-25**, (2005) 161-164.
- 96) C. L. Ma, N. Nishiyama and A. Inoue, *Mater. Sci & Eng., A* **407**, (2005) 201-206.
- 97) F. Spaepen, *Acta Metall.*, **25**, (1977) 407-415.
- 98) H. Kimura and T. Masumoto, *Amorphous Metallic Alloys*, ed. by F. E. Luborsky, Butterworths, London, (1975) p. 187.
- 99) Y. H. Kim, A. Inoue and T. Masumoto, *Mater. Trans., JIM*, **32**, (1991) 331-338
- 100) S. G. Kim, A. Inoue and T. Masumoto, *Mater. Trans., JIM*, **32**, (1991) 875-878.
- 101) C. Fan and A. Inoue, *Mater. Trans., JIM*, **40**, (1999) 1376-1381.
- 102) M. W. Chen, A. Inoue, W. Zhang and T. Sakurai, *Phys. Rev. Lett.*, **96** (2006) 245502.
- 103) K. Hajlaoui *et al.*, *Scripta Mater.*, **54**, (2006) 1829-1834.
- 104) Y. Hirotsu, T. Ohkubo and M. Matsushita, *Microscopy Res. Tech.*, **40**, (1998) 284-312.
- 105) Y. Q. Zeng, Dr. Thesis, Tohoku Univ. (2007).
- 106) 例えば、C. Fan and A. Inoue, *Mater. Trans.*, **38**, (1997) 1040-1046.
- 107) 例えば、U. Kuhn, J. Eckert, N. Mattern and L. Schultz, *Appl. Phys. Lett.*, **80**, (2002) 2478-2480.
- 108) 例えば、J. Eckert, U. Kuhn, N. Mattern and L. Schultz, *Intermetallics*, **10**, (2002) 1183-1190.
- 109) A. Inoue, *Mater. Sci. Forum*, **179-181**, (1995) 691-700.
- 110) 例えば、M. W. Chen, T. Zhang, A. Inoue, A. Sakai and T. Sakurai, *Appl. Phys. Lett.*, **75** (1999) 1697-1699.
- 111) F. X. Qin, X. M. Wang, G. Q. Xie and A. Inoue, *Intermetallics*, **16**, (2008) 1026-1030.
- 112) J. Saida, A. D. Setyawan, H. Kato and A. Inoue, *Appl. Phys. Lett.*, **87** (2005) 151907.
- 113) A. Inoue and T. Zhang, *Mater. Trans., JIM*, **37**, (1996) 185-187.
- 114) 例えば、K. Fujita, Y. Morishita, N. Nishiyama, H. Kimura and A. Inoue, *Mater. Trans.*, **46** (2005) 2856-2863.
- 115) 高松機械工業株式会社 ホームページ, 製品ラインナップ, < <http://www.takamaz.co.jp/2product/seihin/usl-series.html> >
- 116) A. D. Setyawan, H. Kato, J. Saida and A. Inoue, *J. Appl. Phys.*, **103**, (2008) 044907.
- 117) 例えば、NEDO 「精密部材整形用材料創製・加工プロセス技術プロジェクト」事後評

- 価報告書, < <http://www.nedo.go.jp/iinkai/hyouka/houkoku/19h/jigo/14.pdf> >
- 118) 例えば、NEDO「金属ガラスの成形加工技術」プロジェクト成果報告書, < <http://www.tech.nedo.go.jp/PDF/100010433.pdf> >
- 119) M. Ishida, H. Takeda, D. Watanabe, K. Amiya, N. Nishiyama, K. Kita, Y. Saotome and A. Inoue, *Mater. Trans.*, **45**, (2004) 1239-1244.
- 120) 金属便覧, 日本金属学会編, 丸善(1990), p.1187.
- 121) X. M. Wang and A. Inoue, *Proc. IUMRS-ICA 2008 (Nagoya)*, Dec. 9-13, 2008, JP-20.
- 122) 株式会社ニコン インストルメンツカンパニー ホームページ, CNC 画像測定システム, < [http://www.nikon-instruments.jp/nexiv/jpn/products/vmr\\_1515tz.htm](http://www.nikon-instruments.jp/nexiv/jpn/products/vmr_1515tz.htm) >
- 123) アイセル株式会社ホームページ, 製品情報, < <http://isel.jp/psp/psp2-nano.htm> >
- 124) 野村幸矢, R&D 神戸製鋼技報, **54**, (2004) 2-8.
- 125) 例えば、日本工業規格, JIS H 3130 (2000 改定), CDA:C52100.
- 126) 例えば、日本工業規格, JIS Z3234 (1992 制定).
- 127) 例えば、日本工業規格, JIS H 3130 (2000 改定), CDA:C17530.
- 128) 例えば、日本ガイシホームページ, 欧州 RoH 指令における規制物質について, < [http://www.ngk.co.jp/product/metal/beryllium/pdf/pdf\\_beryllimu\\_rohs.pdf](http://www.ngk.co.jp/product/metal/beryllium/pdf/pdf_beryllimu_rohs.pdf) >
- 129) 例えば、U. Mizutani, *Prog. Mater. Sci.*, **28**, (1983) 97-228.
- 130) W. Zhang, Q. S. Zhang and A. Inoue, *J. Mater. Res.*, **23** (2008) 1452-1456.
- 131) T. Zhang and A. Inoue, *Mater. Trans.*, **43**, (2002) 708-711.
- 132) 東北大学金属材料研究所, 金属ガラス総合研究センターホームページ, 金属ガラスの国際標準化に向けて, < [http://www.arcmg.imr.tohoku.ac.jp/pdf\\_file/top\\_topics/top\\_topics\\_8.pdf](http://www.arcmg.imr.tohoku.ac.jp/pdf_file/top_topics/top_topics_8.pdf) >
- 133) T. Bitoh, A. Makino, A. Inoue and A L. Greer, *Appl. Phys. Lett.*, **88**, (2006) 182510.
- 134) K. Amiya, A. Urata, N. Nishiyama and A. Inoue, *Mater. Trans.*, **45**, (2004) 1214-1218.
- 135) A. Inoue, *Proc. Japan Acad.*, **81**, (2005) 172-188.
- 136) Y. Kawamura, K. Hayashi, A. Inoue and T. Masumoto, *Mater. Trans.*, **42**, (2001) 1172-1176.
- 137) E. Abe, K. Kawamura, K. Hayashi and A. Inoue, *Acta Mater.*, **50**, (2002) 3845-3857.
- 138) H. Kimura, A. Inoue, K. Sasamori, H. Yoshida and O. Hruyama, *Mater. Trans.*, **46**, (2005) 1733-1736.
- 139) H. Kimura, A. Inoue, N. Muramatsu, K. Shin and T. Yamamoto, *Mater. Trans.*, **47**, (2006) 1595-1598.
- 140) A. R. Yavari et al., *Acta Mater.*, **56**, (2008) 1830-1839.
- 141) P. Villars (Editor), in *Pearson's Handbook Desk Edition, Crystallographic Data for Intermetallic Phases*, Vol.2., ASM Int., Ohio, (1997) 16042.

- 142) T. B. Massalski, *Binary Alloy Phase Diagrams*, ASM, Ohio, (1996).
- 143) A. Inoue, W. Zhang, T. Tsurui, A. R. Yavari and A. L. Greer, *Philos. Mag. Lett.*, **85**, (2005) 221-229.
- 144) F. R. Niessen, *Cohesion in Metals*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam (1988).
- 145) *Metals Databook*, ed. by Jpn. Inst. Metals, Maruzen, Tokyo (1983) p.8.
- 146) J. H. Xia, J. B. Qiang, Y. M. Wang, Q. Wang and C. Dong, *Mater. Sci. Eng.*, **A449-451**, (2007) 281-284.
- 147) 例えば、日本工業規格, JIS H 0500 (1983 制定, 1998 改定).
- 148) 講座・現代の金属学 材料編 5 非鉄材料, 日本金属学会 (1987) p. 64.
- 149) A. Inoue and W. Zhang, *Mater. Trans.*, **43**, (2002) 2921-2925.
- 150) 大森守, 木村久道, 大久保昭, 笹森賢一郎, 井上明久, 橋田俊之, 粉体粉末冶金協会講演概要集 平成 18 年度秋季大会 (2006) 165.
- 151) 沈宝龍, 木村久道, 井上明久, 大竹和実, 加藤晃, 粉体粉末冶金協会講演概要集 平成 19 年度春季大会 (2007) 69.
- 152) 渡辺龍三, 吉年規治, 加藤秀実, 川崎亮 : 粉体および粉末冶金 **55**, (2008) 709-714.
- 153) 松原慶明, 柳本勝, 川崎亮, 粉体および粉末冶金 **55**, (2008) 715-719.
- 154) G. Xie, W. Zhang, D. V. Louzguine-Luzgin, H. Kimura, A. Inoue : *Scripta Mater.* **55** (2006) 687-690.
- 155) 大亜真空株式会社 ホームページ, 製品情報, < <http://www.diavac.co.jp/products/souti/hotopuresu/index.html> >
- 156) Q. Zhang, W. Zhang and A. Inoue, *Scripta Mater.*, **55**, (2006) 711-713.
- 157) SPS シンテックス株式会社ホームページ, 製品情報, < <http://www.scm-sps.com/jp/html/productshtm/product2.htm> >
- 158) T. Zhang, A. Inoue and T. Masumoto, *Mater. Trans.*, *JIM*, **32**, (1991) 1005-1010.
- 159) 例えば、大野ロール株式会社 ホームページ, 製品紹介【圧延機】粉末圧延機, < <http://www1.odn.ne.jp/~adm95490/atuenki.html> >
- 160) 例えば、ブラッシュウエルマンジャパン株式会社 ホームページ, ベリリウム銅: ストリップ 公差, < [http://brushwellman.jp/alloy/products/copper\\_beryllium/C17200/strip/StripTolerance\\_metric.php](http://brushwellman.jp/alloy/products/copper_beryllium/C17200/strip/StripTolerance_metric.php) >
- 161) 例えば、東京大学生産技術研究所 高次機能加工学研究室 ホームページ, < <http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/~yanlab/education/Rolling-1.pdf> >
- 162) H. S. Chen, H. Kato and A. Inoue, *J. Jpn. Appl. Phys.*, **39**, (2000) 1808-1811.
- 163) F. T. Trouton, *Proc. Royal Soc.*, **77**, (1906) 426-440.
- 164) *Metals Handbook 9th edition*, Metals Park, OH, ASM International.
- 165) 例えば、大野ロール株式会社 ホームページ, 製品紹介【圧延機】電熱式加熱ロール, < <http://www1.odn.ne.jp/~adm95490/atuenki.html> >

- 166) 例えば、日本ガイシ株式会社 ホームページ, テクニカルデータ : 製造工程, < [http://www.ngk.co.jp/product/metal/beryllium/expanded\\_data\\_a12.html](http://www.ngk.co.jp/product/metal/beryllium/expanded_data_a12.html) >
- 167) C. C. Koch, O. B. Cavin, C. G. McKamey and J. O. Scanbrough, *Appl. Phys. Lett.*, **43**, (1983) 1017-1019.
- 168) C. Suryanarayana, *Progress in Mater. Sci.*, **46**, (2001) 1-184.
- 169) J. Saida, M. Matsushita, C. Li and A. Inoue, *Philos. Mag. Lett.*, **80**, (2000) 737-743.
- 170) K. H. Kim et al., *Scripta Mater.*, **58**, (2008) 5-8.
- 171) Z. Yuehua, Z. Huaizhi and Z. Kanghou, *J. Less-Common Metals*, **138**, (1988) 7-10.
- 172) 日立電線株式会社 ホームページ, 製品紹介, < [http://www.hitachi-cable.co.jp/copper/copper\\_strip/semiconductor1/hcl305.html](http://www.hitachi-cable.co.jp/copper/copper_strip/semiconductor1/hcl305.html) >
- 173) DOWA オーリンメタル株式会社 ホームページ, 製品紹介, < [http://www.metanix.co.jp/dom/ja/product/ycut\\_f.html](http://www.metanix.co.jp/dom/ja/product/ycut_f.html) >
- 174) 日本ガイシホームページ, ベリリウム銅展伸材, < [http://www.ngk.co.jp/product/metal/beryllium/expanded\\_data\\_a06.html](http://www.ngk.co.jp/product/metal/beryllium/expanded_data_a06.html) >
- 175) 三菱電機メテックス株式会社 ホームページ, 製品・サービス, < <http://www.metecs.co.jp/jp/products/MX96R.html> >

#### 【IV章の参考文献】

- 1) 2009 ストレージ関連市場総調査, 株式会社キメラ総研(2009)
- 2) マイクロニュース, ハイライト, 第 18 回マイクロマシン/MEMS 展, (財)マイクロマシンセンター(2007).
- 3) 新機能材料<金属ガラスの基礎と産業への応用 井上明久 テクノシステム(2009).
- 4) 医療機器・用品年鑑 2009 年度版 市場分析編, (株)アールアンドディ (2009).
- 5) Joon-Mo Yang, et al, *Endoscopic Photoacoustic Microscopy*, *Photonics West 2009*
- 6) 古河電工時報 第 120 号, (2007.9) p.35.
- 7) 例えば Bishop Report, 世界のコネクタ市場 : 2008 年
- 8) 経済産業省ホームページ, 統計, < <http://www.meti.go.jp/statistics/> >
- 9) 日刊工業新聞ホームページ, < <http://www.nikkan.co.jp/adv/gyoukai/2008/080402.htm> >



## 2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

ナノテク・部材イノベーションプログラム  
「高機能複合化金属ガラスを用いた革  
新的部材技術開発」(中間評価)  
(平成19年度～平成23年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO技術開発機構  
ナノテクノロジー・材料技術開発部

平成21年8月12日

1/46

報告内容

公開

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)国内外の研究開発の動向
- (2)社会的背景と事業の目的
- (3)ナノテク・部材イノベーションプログラムでの位置付け
- (4)NEDOが関与する意義
- (5)実施の効果

II. 研究開発マネジメント

- (1)事業の目標
- (2)事業の計画内容
- (3)研究開発の実施体制
- (4)研究の運営管理
- (5)情勢変化への対応

III. 研究開発成果

- (1)開発目標と達成度
- (2)検討内容

IV. 実用化の見通し

- (1)実用化までのシナリオ
- (2)波及効果

2/46

## プロジェクトの概要説明(その1)

### I. 事業の位置付け・必要性について

- (1) 国内外の研究開発の動向
- (2) 社会的背景と事業の目的
- (3) プログラムでの位置づけ
- (4) NEDOが関与する意義
- (5) 実施の効果

### II. 研究開発マネジメントについて

- (1) 事業の目標
- (2) 事業の計画内容
- (3) 研究開発の実施体制
- (4) 研究の運営管理
- (5) 情勢変化への対応

### I. 事業の位置付け・必要性について (1) 国内外の研究開発の動向

#### 国内外の研究開発の動向

##### 1. 国内の研究状況

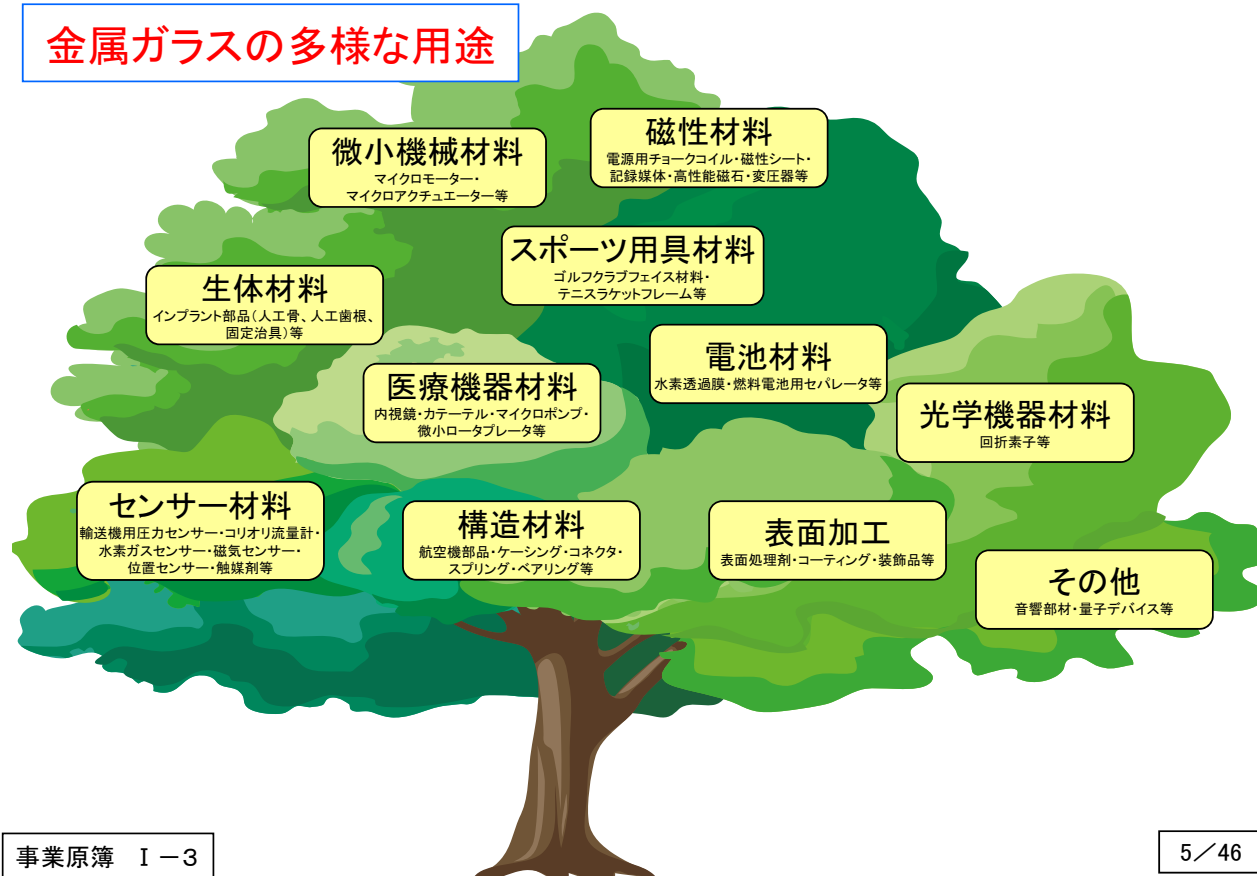
- ・1988年発明以降、バルク金属ガラスの材料創製及び基礎的研究で常に世界をリード。
- ・数百種を越える開発合金のうち、大半を開発し世界を先導。東北大学の物質科学分野での論文引用数世界3位のランキングに評価に大きく貢献 (ISI-Thomson Scientific, 1998-2008調査)。
- ・開発された合金の広範な実用化が望まれている。



##### 2. 海外の研究状況

- ・**米国** 日本の研究成果に触発され、1993年以降研究開発を開始。最近では米国の国策的研究課題として、NASA、DARPA、U.S.ARMY等との金属ガラスに関する長期共同プロジェクトを実施。2003年にはベンチャー企業”Liquidmetal technologies®”を設立。
- ・**独、英** 日米の研究成果に触発され、1995年以降研究開発を開始。特に、金属ガラスの機械的性質や熱物性を中心とした研究を実施。
- ・**仏** 独英と同様、1995年以降研究開発を開始。英、独、仏、伊等の欧州共同研究体 (EURO-NANO) の拠点。金属ガラスの構造解析を中心とした研究を実施。
- ・**伊** 米Liquidmetal technologiesと射出成形メーカーSAGAが共同ベンチャーを2006年に起業。
- ・**韓国** 日米欧の研究成果に触発され、1999年以降研究開発を開始。Ti基金属ガラスの開発を中心とした研究開発を実施。現在、金属ガラスに関する8年プロジェクト(基礎研究)および12年プロジェクト(実用化研究)が進行中。金属ガラス製携帯電話ケースのベンチャー企業を設立。
- ・**中国** 2000年以降に金属ガラス研究が開始され、研究者数は現在数百人規模に急増。複数の大学で金属ガラスに関する国家プロジェクトが発足。
- ・他に、東欧、ロシア、インド、台湾、シンガポール、カナダ、ブラジルなど多数の国でプロジェクトが発足。

金属ガラスの多様な用途



社会的背景

金属ガラスの機能・特性を十分に活かしつつ、材料創製技術と成型加工技術を融合させることにより、新市場及び新たな雇用を創出する高付加価値産業(材料・部材産業)を構築するとともに、我が国の国際的産業競争力の強化を図る。

事業の目的

従来の金属ガラス単相合金の持つ優れた特徴に加えて、硬磁気特性、塑性加工性、高電気伝導性等の特性を併せ持つ複合化金属ガラス合金を創製し、従来の金属ガラス単相合金では為しえなかった革新的部材の開発を行い、さらに多様な工業製品に応用するための共通基盤技術を確立すること。

## イノベーションプログラムの概要

第27回研究開発小委員会(平成21年4月27日)資料

1. 「イノベーションプログラム」の中での体系的推進 (**Inside Management & Accountability**)
  - 経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策目標毎に7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進。
  - 各プログラムの中で、政策目標に向けたプロジェクトの位置付けと目標の明確化、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)との一体化を図り、イノベーション実現に向け各プロジェクトを効果的に推進。
2. 「技術戦略マップ」に基づく戦略的企画立案 (**Outside Communication & Networking**)
  - 先端産業技術動向を把握し、国が取り組むべき技術課題とイノベーションの道筋を明確化するため、産学官で協働するロードマッピング手法を導入(『技術戦略マップ 2005/2006/2007/2008』)。
  - 研究開発プロジェクトの選定に当たっては、イノベーションプログラムにおける政策目標を基に技術戦略マップに位置付けられた重要技術課題を抽出し戦略的に企画立案。

### イノベーションプログラム(IPG)の21年度予算額 (総額: 1,966億円\*1)

IT IPG	ナノテク・部材 IPG	ロボット・新機械 IPG	健康安心 IPG
①ITコア技術の革新 94億円 ②省エネ革新 42億円 ③情報爆発への対応 44億円 ④情報システムの安全性等 63億円 21年度予算 244億円	①ナノテク加速化領域 36億円 ②情報通信領域 28億円 ③ライフサイエンス・健康・医療領域 16億円 ④エネルギー・資源・環境領域 78億円 ⑤材料・部材領域 27億円 ⑥共通領域 4億円 21年度予算案 188億円	①ロボット関連技術開発 38億円 ②MEMS関連技術開発 12億円 21年度予算 50億円	①創薬・診断技術開発 102億円 ②診断・治療機器・再生医療等の技術開発 28億円 21年度予算 130億円
エネルギー IPG	環境安心 IPG	航空機・宇宙産業 IPG	
①総合エネルギー効率の向上 707億円 ②運輸部門の燃料多様化 278億円 ③新エネルギー等の開発・導入促進 369億円 ④原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保 268億円 ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用 479億円 21年度予算 1,281億円*2	①地球温暖化防止新技術 60億円 ②3R 33億円 ③環境調和産業バイオ 57億円 ④化学物質総合評価 11億円 ⑤共通領域 4億円 21年度予算案 165億円	①航空機産業の基盤技術力の維持・向上 233億円 ②宇宙産業の国際競争力強化 87億円 21年度予算案 320億円	

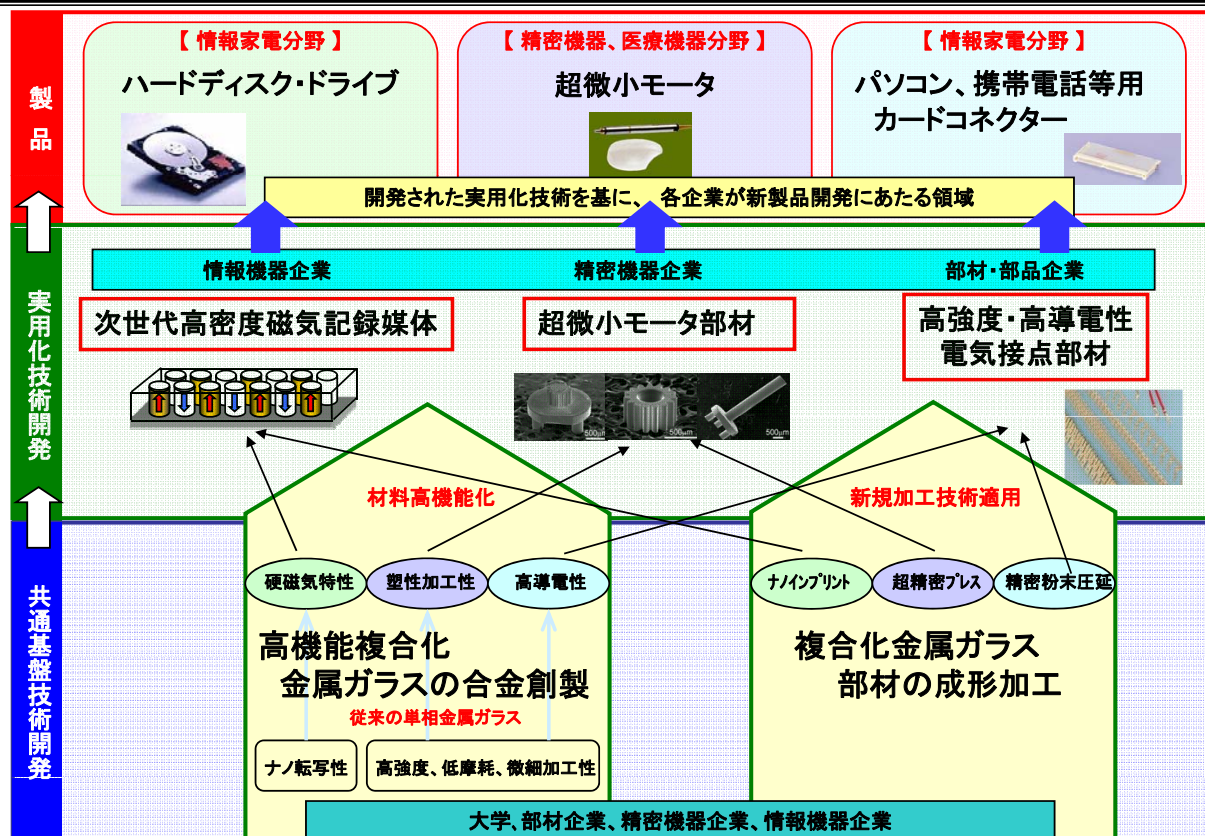
## ナノテク・部材イノベーションプログラムの目的

### ナノテクによる非連続技術革新

あらゆる分野に対して、高度化・不連続な革新をもたらすナノテクノロジー・革新的部材技術を確立する。

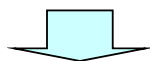
### 世界最強部材産業による価値創出

我が国の部材産業の強みを更に強化することで、他国の追従を許さない競争優位を確保するとともに、部材産業の付加価値の増大を図る。



### 金属ガラスによる新金属文明の早期幕開け

- 我が国発の先導的研究
- 我が国が得意とする部材開発の競争力強化につながる
- 情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどあらゆる分野に適用できる可能性を秘めている
- 出口製品に直結した連携重視開発が必要研究
- 開発の難易度: 高
- 投資規模: 大 = 開発リスク: 大



NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

## 費用対効果

開発費用の総額: **約19億円(5年間)**

市場の効果(平成26年度)

総額: 43, 130億円

内訳:ハードディスクドライブ	43, 000億円
超微小モータ組込み装置	110億円
高性能微細カードコネクタ	20億円

## 研究開発項目

## 【共通基盤技術】 100%委託事業

- ①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術
- ②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術
- ③複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術

金属ガラス相と第二相を複合化させることで複合化金属ガラス合金を創製し、従来の金属ガラス単相合金の持つ優れた特徴に加えて、硬磁気特性、塑性加工性、高電気伝導性等の特性を付加。

## 【実用化研究】 助成事業(助成率1/2)

- ④次世代高密度磁気記録媒体の開発
- ⑤超微小モータ用部材の開発
- ⑥高強度・高導電性電気接点部材の開発

複合化金属ガラスの持つ新規な特性を用いて、従来の金属ガラス単相合金では為し得なかった革新的部材の開発を行い、さらに多様な工業製品に応用することで我が国産業の優位性を確保。



技術戦略マップでの位置づけ

部材分野／情報家電

2-06-01	記録部材	新規不揮発性メモリー	高密度、信頼性	無機系不揮発性メモリー、フォトロミック有機分子
2-06-02		超高密度ハードディスク、大容量光ディスク	表面化学特性制御、磁気特性制御(高磁化特性、軟磁性特性等)、多層構造特性発現、均一薄膜形成(高比剛性(低モーメント性)、微細転写性)	フレイク系基板適合低誘電率材料、マンガン系精密製造部材、磁気記録材料(高機能複合化金属ガラス)
2-03-01	実装部材	封止、接着部材	加熱制御防止、外部衝撃緩衝、非吸水性	熱膨張率制御複合材料、有機材料、分子配向性有機無機複合水バリア材料
2-03-02		基板部材	高周波配線対応、耐熱性向上、平滑性、親和性(界面制御)、高精密性	セラミックス、有機無機複合、環状・縮環系耐熱樹脂、複合材料、有機材料
2-03-03		高リサイクル・環境適応部材	リサイクル性、審美性、電磁波遮蔽性、有害物質非含有	高機能軽量磁体(マグネシウム・リチウム系電磁波吸収材)、Cr・freeハンダ、Be-free銅合金(高機能複合化金属ガラス)

部材分野／環境・エネルギー分野等

4-11-01	ロボッ	骨格用構造材	高弾性、強靱性、高比剛性、高比強度	バネ材料(金属材料、高分子材料)、軽量骨格材料(セラミックス、有機無機複合材料)、重量骨格材料(金属材料、セラミックス) 軽量金属(マグネシウム・チタン) 構造部材
4-11-02		駆動部材	繰返特性・高出力、超微細駆動制御、圧電変換、高速応答性、低ヒステリシス性、圧電変換機能	高弾性変形、自己修復材(エラストマー、ゲル材料) 形状記憶合金人工筋肉(ニッケル・チタン等)、圧電変換材(高分子材料)、超微小ギア(高機能複合化金属ガラス)

事業の目標

【共通基盤技術】

①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術

中間目標

1平方インチ当り600ギガビット(ドット径:16nm程度、ドット間隔:33nm程度)の密度となるナノパターン形成技術を開発し、異方性磁界を10kOe以下、飽和磁化を500emu/cc程度の特性を持つ硬磁性複合化金属ガラスを用いて、評価可能な程度の微小サンプルを試作して、磁気記録特性を確認する。

最終目標

1平方インチ当り2テラビット(ドット径:9nm程度、ドット間隔:18nm程度)の密度となるナノパターン形成技術を開発し、異方性磁界を15kOe以下、飽和磁化を500emu/cc程度の特性を持つ硬磁性複合化金属ガラスを用いて、評価可能な程度の微小サンプルを試作して、磁気記録特性を確認する。

**事業の目標****【共通基盤技術】****②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術****中間目標**

圧縮強さが1650 MPa以上で、圧縮応力下での塑性伸びが5%以上の複合化金属ガラス合金の創製を行い、直径が0.3mm以下で、寸法精度が $\pm 2\mu\text{m}$ 以下の超々精密な遊星ギヤ等が作製できるような基盤技術を開発する。

**最終目標**

圧縮強さが1650 MPa以上で、圧縮応力下での塑性伸びが10%以上の複合化金属ガラス合金の創製を行い、直径が0.3mm以下で、寸法精度が $\pm 1\mu\text{m}$ 以下の超々精密な遊星ギヤ等が作製できるような基盤技術を開発する。

**事業の目標****【共通基盤技術】****③複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術****中間目標**

引張強度が1200MPa以上で、導電率が30%IACS以上の複合化金属ガラス合金の創製を行い、板厚が0.1mm程度で、板幅が10mm以上の精密薄板を作製する。

**最終目標**

引張強度が1500MPa以上で、導電率が60%IACS以上の複合化金属ガラス合金の創製を行い、板厚が0.05mm程度で、板幅が50mm以上の精密薄板を作製する。

事業の目標

【実用化研究】

④次世代高密度磁気記録媒体の開発

最終目標

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、記録密度が1平方インチ当り2テラビットの超高密度磁気記録媒体を開発する。

⑤超微小モータ用部材の開発

最終目標

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、現状の世界最小ギヤードモータ用ギヤと比べて1/2の大きさの超々精密ギヤを使用し、モータ全体の体積が1/3以下の超微小モータを開発する。

⑥高強度・高導電性電気接点部材の開発

最終目標

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、コネクタのピッチもしくは高さが現状の1/2となる微細カードコネクタを開発する。

研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標	設定根拠
①硬磁性・ナノ構造部材技術	1平方インチ当り600ギガビット(ドット径:16nm程度、ドット間隔:33nm程度)の密度となるナノパターン形成技術を開発し、異方性磁界を10kOe以下、飽和磁化を500emu/cc程度の特性を持つ硬磁性複合化金属ガラスを用いて、評価可能な程度の微小サンプルを試作して、磁気記録特性を確認する。	ロードマップでは、媒体磁気記録密度は、平成26年度には1平方インチ当り2テラビットと策定されている。この目標を達成するため、平成21年度末(中間時点)で1平方インチ当り600ギガビット(ドット径:16nm程度、ドット間隔:33nm程度)、さらに、平成23年度末(最終時点)で1平方インチ当り2テラビット(ドット径:9nm程度、ドット間隔:18nm程度)を達成できる十分な磁気記録特性を持つ複合化金属ガラスを創製し、磁性粒子をインプリント加工できる超微細金型の加工技術および金属ガラスを被転写材としたインプリント技術の開発とともに、これらの技術を組み合わせて作製した微小サンプルを用いて磁気特性を確認する。




研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標	設定根拠
②高強度・超々精密部材技術	圧縮強さが1650 MPa以上で、圧縮応力下での塑性伸びが5%以上の複合化金属ガラス合金の創製し、現状の世界最小ギヤードモータに比べて直径が1/2(0.3mm以下)、寸法精度が±2μm以下の超々精密ギヤ等を作製する。	単相金属ガラスと同等の1650 MPaとした。また、創製する複合化金属ガラスは、十分な塑性変形能を有し、精密プレス成形で破壊することなく歯形が加工可能であることから、圧縮応力下での塑性伸びを5%以上(中間目標)とした。また、 <b>実用化技術で開発を目指す直径0.9mmの超微小モータ用ギヤボックスの基本的な検討から、遊星ギヤ等の直径は0.3mm以下である必要がある。ギヤボックスの試作組立性を考慮すると、遊星ギヤ等の寸法精度は±2μm以下である必要があると見積もられた。</b>

研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標	設定根拠
③高強度・高導電性部材技術	引張強度が1200MPa以上で、導電率が30%IACS以上の複合化金属ガラス合金の創製を行い、板厚が0.1mm程度で、板幅が10mm以上の精密薄板を作製する。	<b>銅-ベリリウム合金に匹敵する引張強さ(1200 MPa)と導電率(30 %IACS)を有する複合化金属ガラス合金の創製し、現状の携帯電話等に用いられている小型カードコネクタのピッチもしくは高さを現状の2/3にすることが可能な高精度の薄板を作製する。</b>

研究開発のスケジュール

	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	目標製品
①硬磁性・ナノ構造部材技術 合金創製 超高密度パターン形成技術	磁気特性と粘性流動加工性を併せ持つ合金の探索					 次世代高密度磁気記録媒体
	金型製作・ナノインプリント方法の基礎検討		ナノインプリント方法の最適化			
④次世代高密度磁気記録媒体の開発	実用化検討					
②高強度・超々精密部材技術 合金創製 超々精密ギヤ等の成形技術	高強度と塑性変形能を併せ持つ合金の探索					 超微小モータ
	精密プレス加工での金型成形、ギヤ成形基礎検討		加工精度の向上			
⑤超微小モータ用部材の開発	実用化検討					
③高強度・高導電性部材技術 合金創製 精密薄板作成技術	高強度と高導電性を併せ持つ合金の探索					 微細カードコネクタ
	精密温間圧延の基礎検討		圧延精度の向上			
⑥高強度・高導電性電気接点部材の開発	実用化検討					

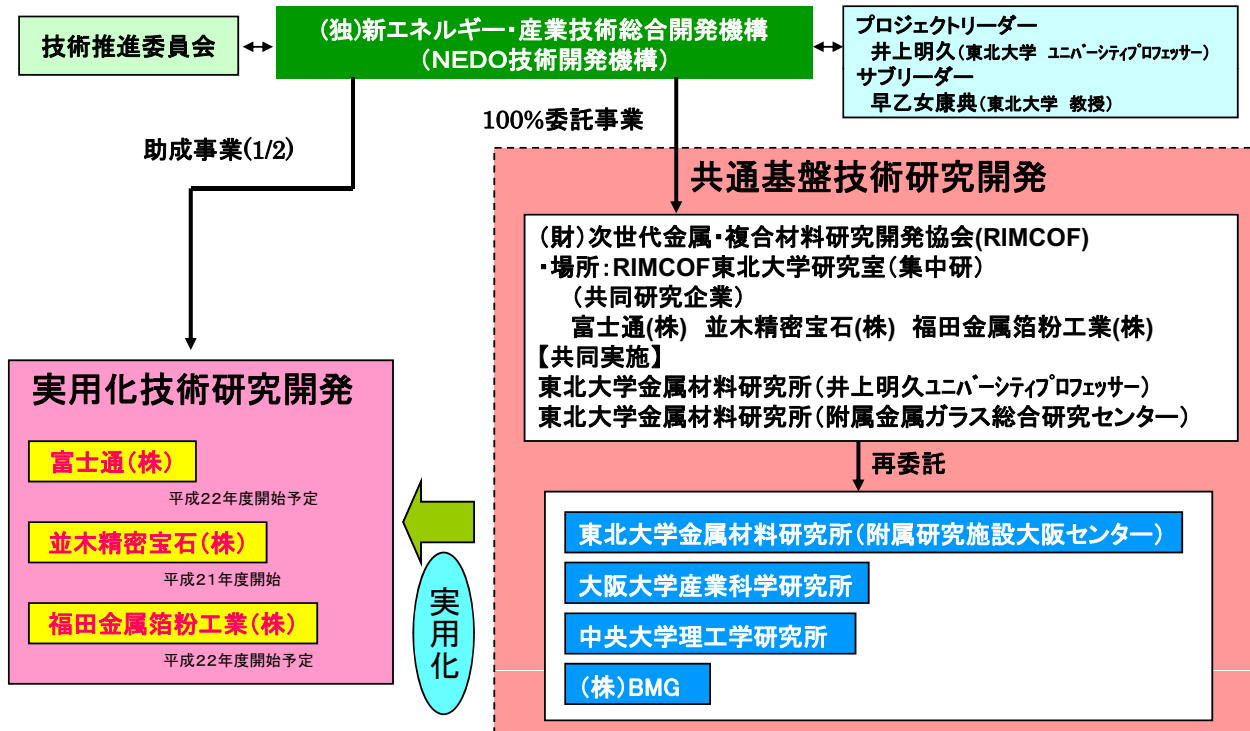
開発予算

(単位:百万円)

研究開発項目		平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度 (予定)	平成23年度 (予定)	合計
委託	①硬磁性・ナノ構造部材技術						
	②高強度・超々精密部材技術	350 (145)	323 (30)	289	385	323	1845
	③高強度・高導電性部材技術	加速	加速				
助成	④次世代高密度磁気記録媒体					15	15
	⑤超微小モータ用部材			4	22	10	36
	⑥高強度・高導電性電気接点部材				5	11	16
合計		495	353	293	412	359	1912

※下段の数字は加速資金  
 ※NEDO講座費用は含まず  
 ※助成事業は1/2助成額

研究開発の実施体制



研究開発の運営管理

・「技術推進委員会」開催

外部の専門家、有識者等によって構成される技術推進委員会を設置し、プロジェクトの目標達成度を把握するとともにプロジェクトの資源配分の判断に資することを目的とする。

開催実績 第一回:平成20年7月14日

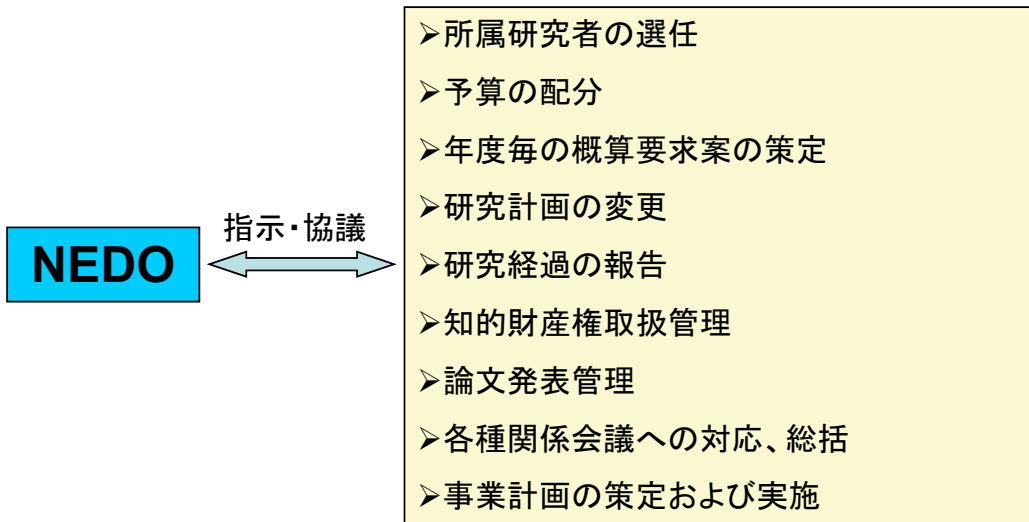
立場	氏名	所属・部署	役職
委員長	木内 学	木内研究室	代表
委員	田上 勝通	TDK株式会社 SQ研究所	所長
〃	肥後 矢吉	東京工業大学 精密工学研究所	教授
〃	丸山 正明	日経BP社 産学連携事務局	プロデューサー

・その他、以下の委員会を開催

「総合技術委員会(年3回)」研究内容の進捗状況確認と今後の方針を協議

「研究グループ会議(月2回以上)」研究開発項目毎の詳細な進捗状況確認

プロジェクトリーダーの役割



加速財源投入実績

年度	金額(百万円)	内容	成果
平成19年度	145	設備導入 ・組成探索用スパッタ成膜装置 ・ナノインプリント装置 ・電界放出型走査電子顕微鏡	磁気特性とナノ加工が可能な軟化特性を合わせ持つ金属ガラス薄膜の作製に成功し、微小サンプル上でのナノパターンの形成が可能になった。また、ナノパターンの詳細な形状解析により、実験へのフィードバックが可能になった。
平成20年度	30	金型購入 設備導入 ・精密温間圧延装置用混合粉末予備固化装置 ・超音波焼結圧延装置	均一に粉末化および混合し、固化成形前にまえて材料を予備加熱することが可能となった。さらに超音波振動モードが制御された圧子が揺動回転振動することで、効率的な固化焼結が可能となった。固化条件を精密に制御することにより、材料の表面酸化を抑制した状態で、粉末形成から精密圧延にいたるプロセスを一貫して実施することが可能になった。



HDD業界の動向

FUJITSU PRESS RELEASE

ハードディスクの記憶媒体事業の譲渡・譲受に関する基本合意について  
2009年2月17日  
昭和電工株式会社  
富士通株式会社

昭和電工株式会社(以下、「昭和電工」という。)、富士通株式会社(以下、「富士通」という。))は、2009年第2四半期中(2009年4月1日～6月30日)の実施を目前に、富士通の子会社である株式会社山形富士通(以下、「山形富士通」という。))が営むハードディスク記憶媒体(以下、「メディア」という。)事業を昭和電工に譲渡することで基本合意いたしました。

富士通は新会社を設立し、山形富士通が営むメディア事業を新会社に承継させた上で、富士通の保有する新会社の全株式を昭和電工に譲渡いたします。今後、昭和電工と富士通は本年3月末までの最終契約の合意、第2四半期中(2009年6月30日まで)の譲渡完了を目前に、詳細条件に関する協議を続けてまいります。

山形富士通は、サーバ用ハードディスクドライブ向けのアルミメディア製造、ならびにモバイルパソコン、車載用ハードディスクドライブ向けのガラスメディアの開発・生産を行っており、その生産全量を親会社である富士通に販売しています。

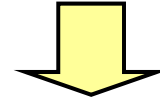
昭和電工は山形富士通のメディア事業を承継することで、サーバ用メディア事業を強化し、安定的取引先を確保いたします。また昭和電工は山形富士通および富士通が保有するメディアに関わる研究開発、製造ノウハウ、知的財産など技術的蓄積を取得し、昭和電工の独自技術との融合により技術力をさらに強化してまいります。

ハードディスク市場は、ノートパソコンおよびデジタル家電向けを中心に今後も高い成長が見込まれております。またハードディスクの記憶容量は今後も急速な増加が見込まれ、ハードディスク大容量化のための次世代磁気記録技術の研究開発と、お客様であるドライブメーカー各社への迅速なサポートが不可欠となっております。

平成21年度2月17日

集中研メンバー&予定助成事業者である富士通(株)が

HDD事業撤退を表明

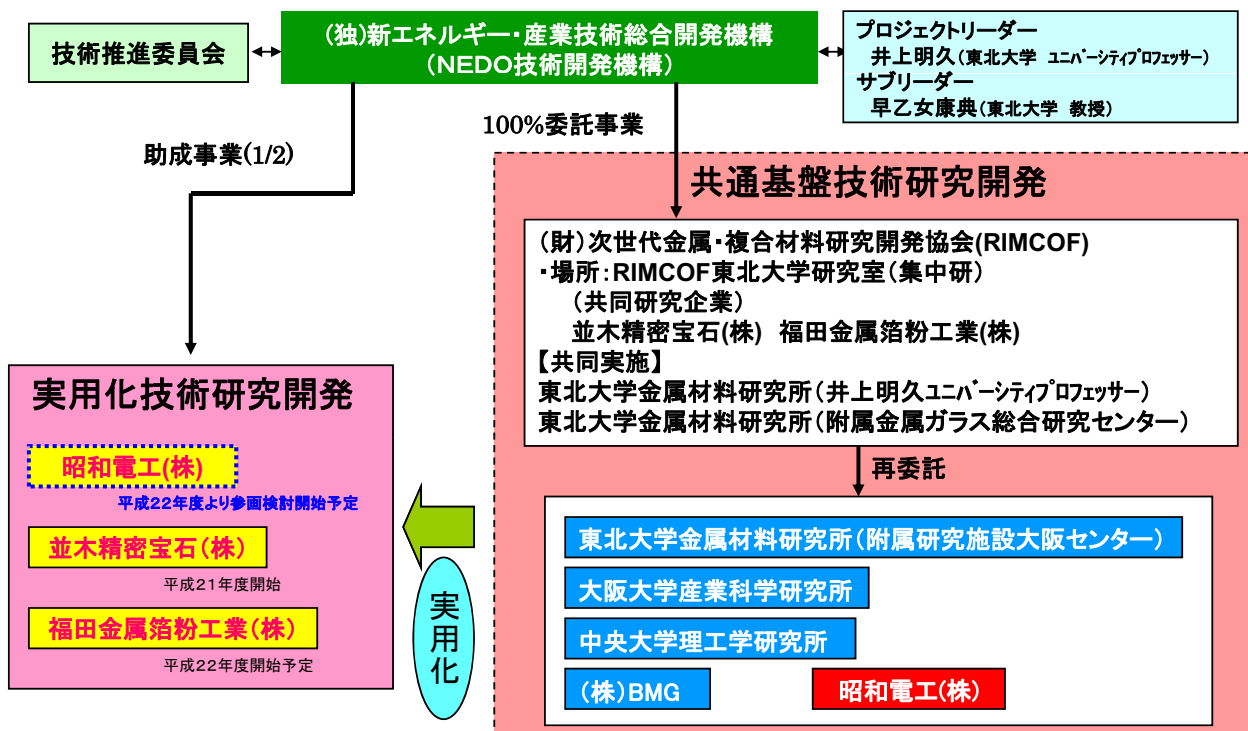


実施体制の変更

再委託先として昭和電工(株)に  
参画いただいた。

実用化の立場から磁性媒体の  
特性評価を担当。

研究開発の実施体制の変更





## プロジェクトの概要説明(その2)

## III. 研究開発成果

## (1) 開発目標と達成度

## (2) 検討内容

- ・複合化金属ガラスの位置づけ
- ・複合化金属ガラスの創製方法
- ・複合化金属ガラスを用いた出口イメージ
- ・特筆すべき研究成果
- ・成果の普及と知的財産権の取得状況

## IV. 実用化の見通し

## (1) 実用化までのシナリオ

- ・硬磁性・ナノ構造部材
- ・高強度・超々精密部材
- ・高強度・高導電性部材

## (2) 波及効果

29 / 46

## III. 研究開発成果について (1) 開発目標と達成度

公開

## 研究開発項目毎の中間目標値と達成度

区分	研究開発項目	中間目標値	*達成度	根拠
共通 基盤 技術	①硬磁性・ナノ構造 部材技術	異方性磁界 <b>10 kOe</b> 以下 飽和磁化 <b>500 emu/cc</b> 程度	◎	Co/Pd多層膜(ベタ膜)にて、異方性磁界7.2 kOeと飽和磁化540 emu/ccを確認。
		ドット径 <b>16 nm</b> ドットピッチ <b>33 nm</b>	◎	FIBデポジション+ドライエッチングによりDLC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 基板上にドット径12 nm、ピッチ25 nm(1 Tbit/in <sup>2</sup> 相当)で高アスペクト比の金型創製に成功(世界最高水準)。
		ドット径 <b>16 nm</b> ドットピッチ <b>33 nm</b>	◎	超微細パターン金型を用い、Pd基金属ガラス薄膜上にドット径12 nm、ピッチ25 nm(1 Tbit/in <sup>2</sup> 相当)の創製に成功。
	②高強度・超々精密 部材技術	圧縮強さ <b>1650 MPa</b> 以上 圧縮塑性伸び <b>5%</b> 以上	◎	Zr-Al-Ni-Pd系複合化金属ガラスで、圧縮強さ1690 MPa、圧縮塑性伸び8.5%を達成。
		直径 <b>0.3 mm</b> 以下 寸法精度 <b>±2 μm</b> 以下	◎	技術導入したホブ加工により直径0.296 mmの遊星歯車を寸法精度±2 μm達成を確認。創製した遊星歯車を用いて一段減速ギヤヘッドの構築に成功。
	③高強度・高導電性 部材技術	引張強さ <b>1200 MPa</b> 以上 導電率 <b>30 %IACS**</b> 以上	◎	Cu基金属ガラス粉末と電解Cu粉を押出法により混合固化した複合化金属ガラスが引張強さ1202 MPa、導電率30%IACSを達成。さらにCu-Zr-Ag系複合化金属ガラスを新たに開発。
		板厚 <b>0.1 mm</b> 程度 板幅 <b>10 mm</b> 以上	◎	新たに開発したCu-Zr-Ag系複合化金属ガラスを冷間圧延、熱処理することにより、板材寸法を達成しながら引張強さ1257 MPa、導電率31%IACSで伸び3.7%を達成(業界最高水準)。

\*達成度の定義: ◎現時点で既に達成。○今年度中に達成見込み。△プロジェクト終了までに達成、×達成見込み無し

\*\*国際標準焼きなまし銅(IACS)の導電性を100%とした時の導電性の比を百分率表示

複合化金属ガラスの位置づけ

「金属ガラスの成形加工技術」プロジェクト(平成14-18年度)



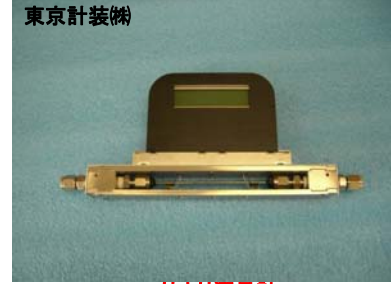
並木精密宝石(株)

マイクロギヤードモータ  
微細成形性、高強度、低摩耗



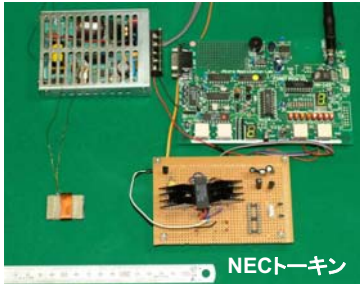
長野計器(株)

一般産業用 車載用  
圧力センサ  
高強度、高弾性限、低ヤング率



東京計装(株)

コリオリ流量計  
高強度、低ヤング率、薄肉成形性



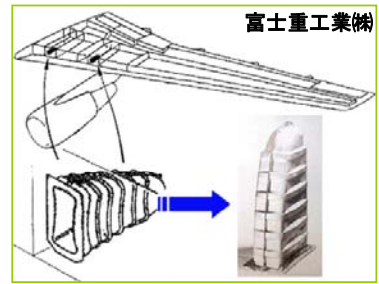
NECTーキン

リニアアクチュエータ  
高飽和磁束密度、高透磁率、低保磁力



富士重工業(株)

自動車用バルブスプリング  
高比強度、高弾性限、低ヤング率



富士重工業(株)

航空機用各種部材  
高比強度、高弾性限、高疲労寿命

複合化金属ガラスの位置づけ

「金属ガラスの成形加工技術」プロジェクト(平成14-18年度)



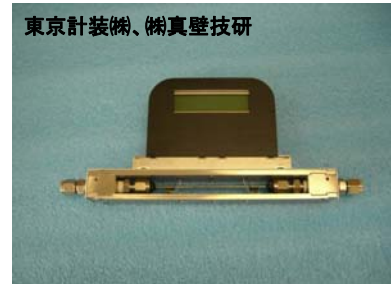
並木精密宝石(株)

マイクロギヤードモータ  
微細成形性、高強度、低摩耗



長野計器(株)

一般産業用 車載用  
圧力センサ  
高強度、高弾性限、低ヤング率



東京計装(株)、(株)真壁技研

コリオリ流量計  
高強度、低ヤング率、薄肉成形性

↓

**実用化助成事業**  
(平成19-20年度)

直径1.5 mmマイクロギヤードモータを合計41台供与し、実装評価中。  
平成24年量産化予定。

高飽和磁束密度、高透磁率、低保磁力

↓

**実用化助成事業**  
(平成19-20年度)

製品化に向けた品質と信頼性を向上させるための量産技術の構築、現在も継続。  
平成23年サンプル提供・製品化予定。

高比強度、高弾性限、低ヤング率

↓

**継続研究**  
(平成19-20年度)

センサチューブの疲労強度特性の向上について検討、現在も継続。  
平成24年量産化予定。

複合化金属ガラスの位置づけ

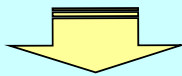
従来の単相金属ガラス

構造

- ・稠密無秩序な原子配列
- ・中長範囲に等方均質な組織

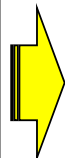
特徴

- ・高強度 (2,000 MPa)
- ・低ヤング率 (100 GPa)
- ・高弾性限界伸び (2%)
- ・超微細精密成形性
- ・粘性流動 (20000%)



応用可能分野 (前プロジェクト)

- ・超精密ギヤ部材
- ・圧力センサ用ダイヤフラム
- ・コリオリ流量計用パイプ



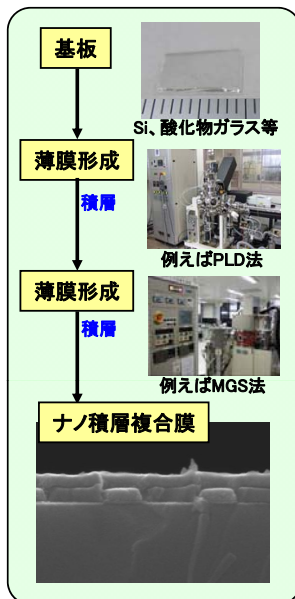
金属ガラスに対する産業界からの要望

- ・ナノレベルでの構造化と機能性発現への期待  
異種薄膜金属ガラスのナノ構造創製と複合化  
(機能性薄膜金属ガラス, ナノプリント)  
→ ナノ規則複合構造による超高密度デバイス創製
- ・塑性変形能、2次加工が必要  
金属ガラス母相よりナノ粒子を析出制御  
(形態、量、分散状態、母相との界面)  
→ すべり系・亀裂進展制御による塑性変形能
- ・高強度と材料機能の両立: 新材料への期待  
固体・液体・気体等の第2相粒子導入・分散制御  
(第2相物質、形態、量、分散状態、異相界面)  
→ 密度, 弾性係数, 減衰能, 変形能, etc.  
→ 電気・熱伝導度, 電磁特性, etc.

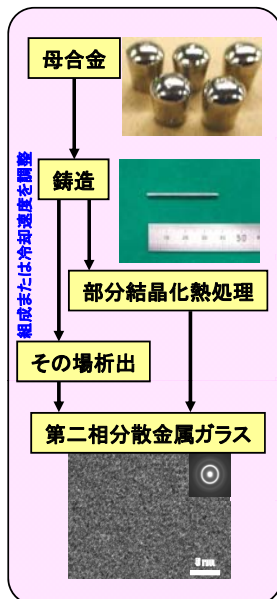
新たな構造・機能特性の発現  
⇒ 次世代複合化金属ガラス

複合化金属ガラスの創製方法

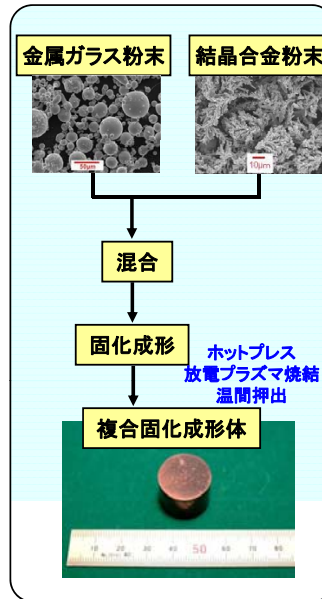
薄膜積層法



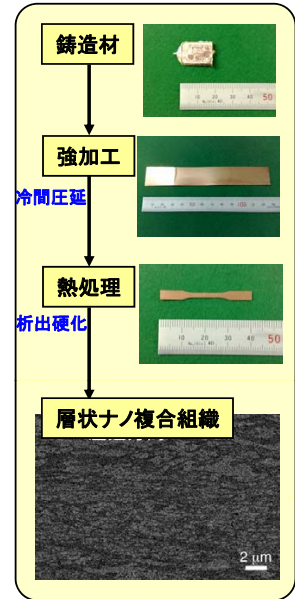
その場析出法



粉末固化法

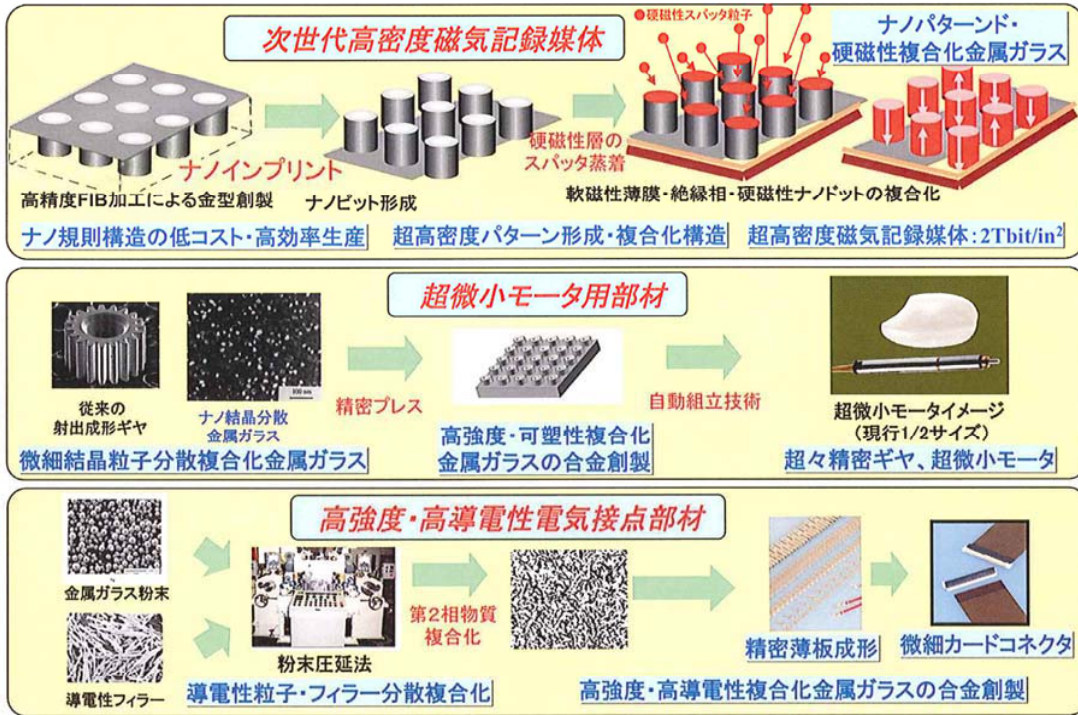


強加工法





複合化金属ガラスを用いた出口イメージ



特筆すべき研究成果 ①硬磁性・ナノ構造部材

**硬磁性記録層**

Si sub./Pd(1 nm)/[Co(0.3 nm)/Pd(1 nm)]<sub>10</sub>

**Co/Pd多層膜を選定**  
 異方性磁界7.2 kOe(ベタ膜)、飽和磁化540 emu/ccを確認。  
 中間目標を達成!

**非磁性金属ガラスインプリント層**

Pd<sub>20</sub>Cu<sub>20</sub>Ni<sub>10</sub>P<sub>10</sub> melt-spun ribbon

明瞭なガラス遷移を確認し、インプリント加工性を実証

**超微細パターン金型**

Pitch: 33nm, Pitch: 25nm

ドット径12 nm、ピッチ25 nmの高アスペクト金型 (1 Tbit/in<sup>2</sup>相当) の創製に成功。  
 中間目標を達成!(世界最高水準)

**超微細インプリントパターン**

Pitch: 25nm, Pitch: 20nm

1 Tbit/in<sup>2</sup>相当のナノパターンをインプリントにより創製。中間目標を達成!

**媒体用複合積層膜**

50 nm

媒体を構成する複合積層膜を創製。

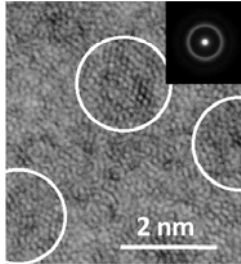
**磁気ドットの磁化反転挙動**

+6 kOe 一方方向飽和磁化状態  
 -1 kOe 磁化反転開始

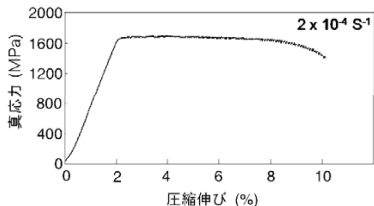
600 Gbit/in<sup>2</sup>相当のパターン上に硬磁性記録層を成膜磁化反転挙動を確認。

特筆すべき研究成果 ②高強度・超々精密部材

Zr-Al-Ni-Pd複合化金属ガラス

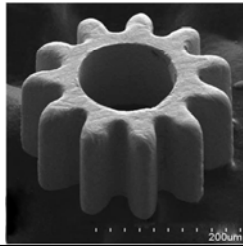


Zr-Al-Ni-Pd系複合化金属ガラスのHR-TEM組織



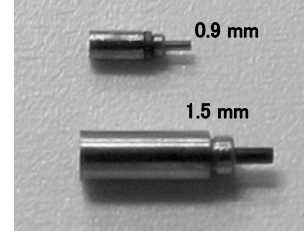
圧縮強さ: 1690 MPa、圧縮塑性伸び: 8.5%  
を確認。中間目標を達成!

ホブ加工による遊星歯車



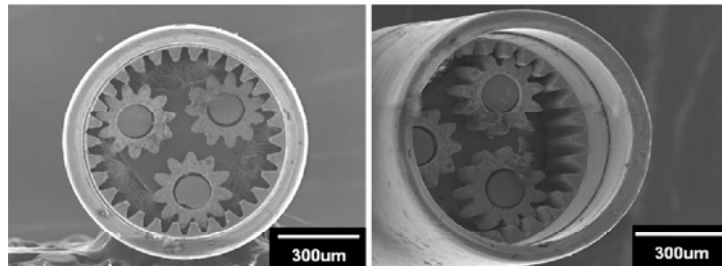
Zr基金属ガラスを用い、ホブ加工により直径  
0.3 mm遊星ギヤの作製に成功。  
歯形形状測定により寸法精度±2 μmを確認  
し、中間目標を達成!

試作ギヤヘッド(1段)



計画を前倒し、一段ギヤヘッドを  
構築!(世界最小)

試作ギヤヘッドの回転動作確認



構築したギヤヘッドのスムーズな回転を確認!

特筆すべき研究成果 ③高強度・高導電性部材

Cu-Zr-Ag非平衡結晶合金(強加工法)



金型鑄造材外観

板厚0.12 mm、板幅20 mmを達成



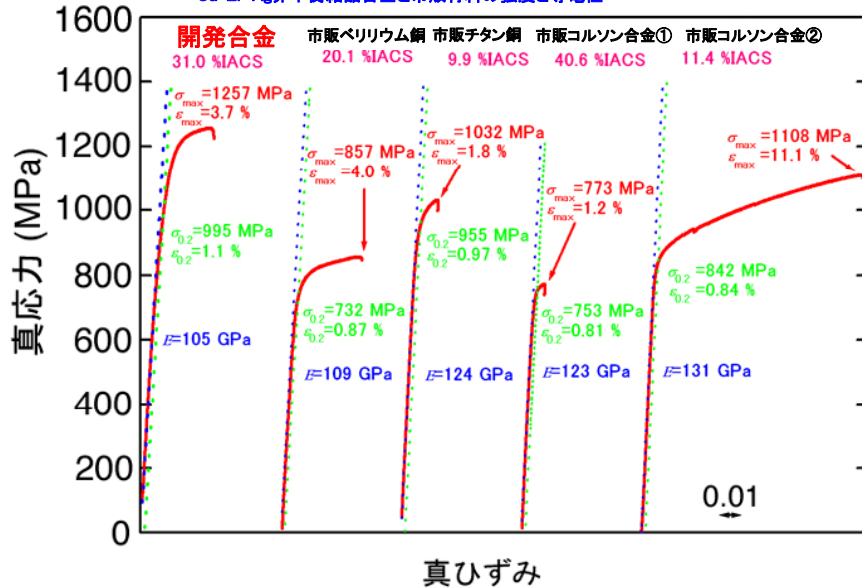
冷間圧延材外観



打抜き試料外観

↓  
熱処理

Cu-Zr-Ag非平衡結晶合金と市販材料の強度と導電性



非平衡結晶合金に強加工(冷間圧延)でひずみを導入し組織を微細化すると共に  
熱処理で析出硬化及び再固溶化させることで強度と導電性を両立。

板幅、板厚と共に強度と導電性の中間目標を達成!(業界最高水準)

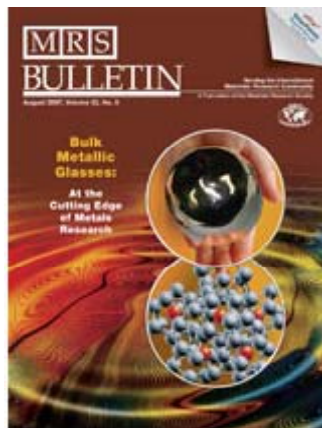
成果の普及と知的財産権の取得状況

外部発表件数一覧

	平成19	平成20	平成21	平成22	平成23	計
展示会等	0	3	0			3件
報道記事	0	0	0			0件
論文(査読付)・著書	6	20	1			27件
口頭発表	31	39	3			73件
特許出願	0	4	1			5件
受賞	0	1	0			1件

注目すべき外部発表成果

**MRS** Materials Research Society  
 August 2007  
 printer-friendly  
 Bulk Metallic Glasses: At the Cutting Edge of Metals Research  
 Volume 32, No. 8



Theme Article - New Bulk Metallic Glasses for Applications as Magnetic-Sensing, Chemical, and Structural Materials  
 651-658 [Akihisa Inoue and Nobuyuki Nishiyama](#)



RIMCOF東北大学研究室  
 竹中特別研究員 受賞



知的財産権と情報管理について

知的財産権の申請および取得について

材料成分特許

- ・本プロジェクトで利用する複合化金属ガラスの成分特許は既に大学より出願済。
- ・新たに発明したもの(強加工Cu基複合化金属ガラス)はプロジェクト参画企業より出願。

構造特許

- ・記録媒体の基本構造についてはプロジェクト参画企業より出願(2件)済。

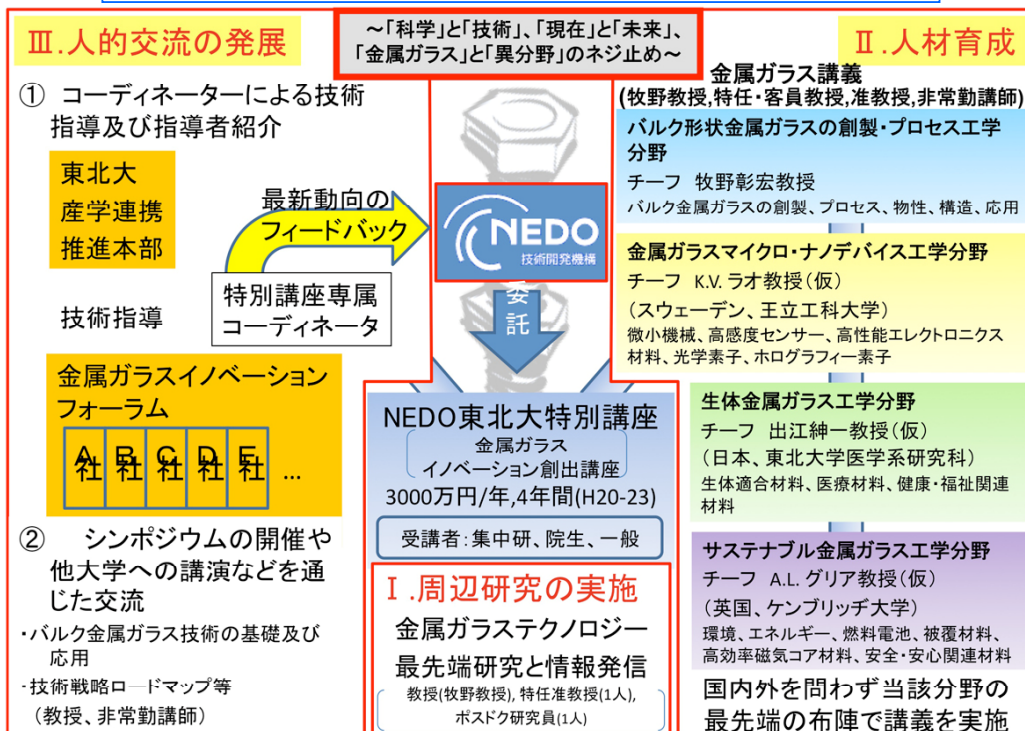
製法特許

- ・ノウハウに関する記載が多く、情報漏えい保持の観点から、共通基盤技術の範囲では出願を制限。
- ・今後、実用化助成事業の進展にあわせて、参画企業の知的財産取扱い基準に従い製法、構造に関する案件を用途限定で多数出願予定。

技術情報の管理について

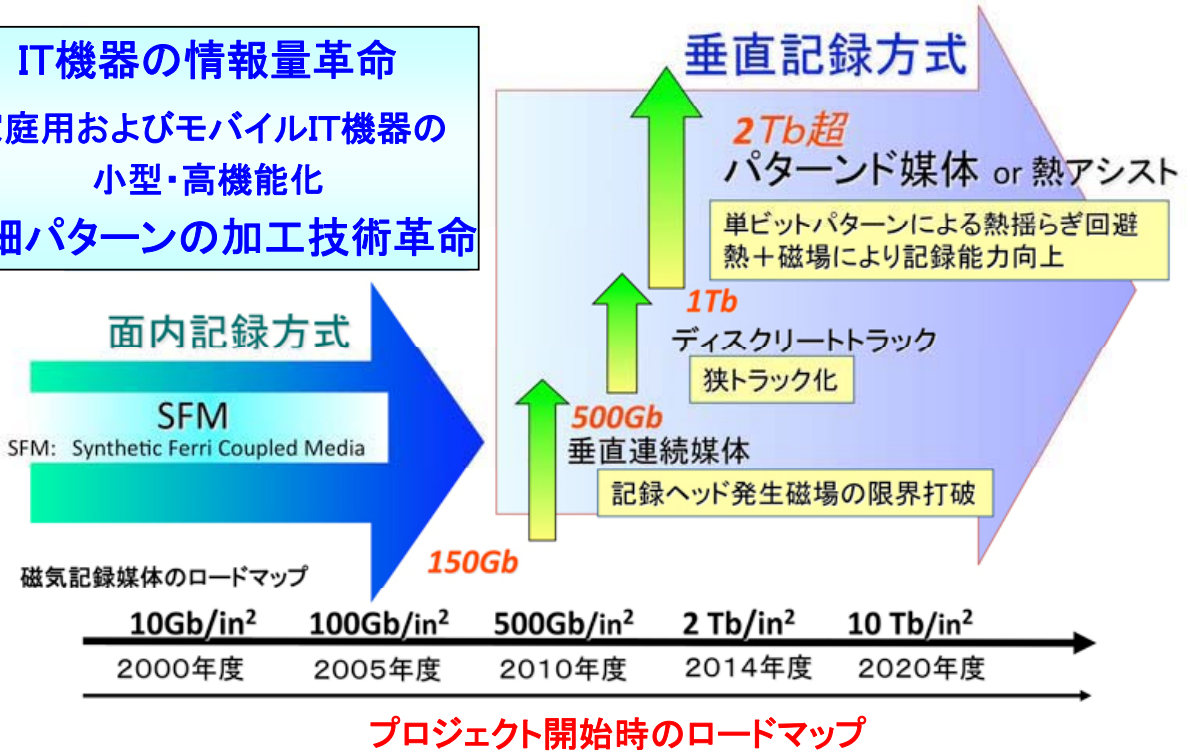
- ・情報管理規定を定め、プロジェクト実施により得られた技術上の成果あるいは情報を管理。成果の外部発表についても、届け出によりプロジェクトリーダーが一元管理し、技術ノウハウの漏えい防止と外部発表時期の適切化を図っている。

成果の普及(金属ガラスNEDO特別講座)



硬磁性・ナノ構造部材の将来展望

IT機器の情報量革命  
 家庭用およびモバイルIT機器の  
 小型・高機能化  
 微細パターンの加工技術革命



高強度・超々精密部材の将来展望

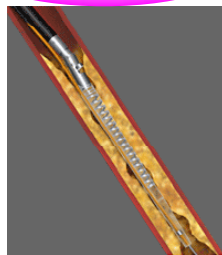
医療機器の技術革命

先端医療機器用  
 低侵襲検査・治療デバイス

内視鏡



DCAカテーテル



血管内視鏡

バイオ研究



マイクロロボット



航空宇宙



平成22年度

平成27年度

平成30年度

設計・試作・市場開拓を考慮したロードマップ



高強度・高導電性部材の将来展望

接点部材の材料革命

- ・強度と導電性の高次元バランス
  - ・RoHS規制、REACH規則に対応
- ベリリウム(Be)フリー接点材料



SIMカード(SCG)コネクタ  
(GSM\*携帯電話向け超低背型)



狭ピッチ、低背型コネクタ



バッテリー用(BTC)コネクタ  
(1.7 mmストローク、1万回挿抜)

ベリリウム銅各種導電コネクタ

ベリリウム(Be)フリー接点材料

平成20年度

平成25年度

平成30年度

設計・試作・市場開拓を考慮したロードマップ

複合化金属ガラスが展開可能な新領域

**医療用デバイス**

ドラッグ・デリバリー・ニードルアレー

検査&治療用マイクロロボット

バイオ産業用ナノピラー

**情報・光学機器用デバイス**

ディスプレイ用光学素子

光学ホログラフィー

高記録密度媒体スタンプ

**一般産業用デバイス**

マイクロ流量計測ポンプ

ナノアクチュエータ

LOC,  $\mu$ TAS

ナノテク・部材イノベーションプログラム  
「高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発」

研究開発成果・実用化の見通しについて  
(中間評価) (公開)

共通基盤技術 研究開発項目①  
複合化金属ガラスによる  
硬磁性・ナノ構造部材技術

## 説明内容

### 硬磁性・ナノ構造部材技術の研究開発

1. 研究開発背景
2. 目標値および開発体制
3. 研究開発成果
  - 研究開発項目①-1 硬磁性複合化金属ガラスの合金創製
  - 研究開発項目①-2-1 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術  
(金型創製)
  - 研究開発項目①-2-2 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術  
(インプリント)
4. まとめと今後の課題
5. 実用化の見通し

## 硬磁性・ナノ構造部材技術の研究開発

### 1. 研究開発背景

### 2. 目標値および開発体制

### 3. 研究開発成果

研究開発項目①-1 硬磁性複合化金属ガラスの合金創製

研究開発項目①-2-1 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術  
(金型創製)

研究開発項目①-2-2 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術  
(インプリント)

### 4. まとめと今後の課題

### 5. 実用化の見通し

## 1. 研究開発背景

### データストレージ技術および記録密度のロードマップ

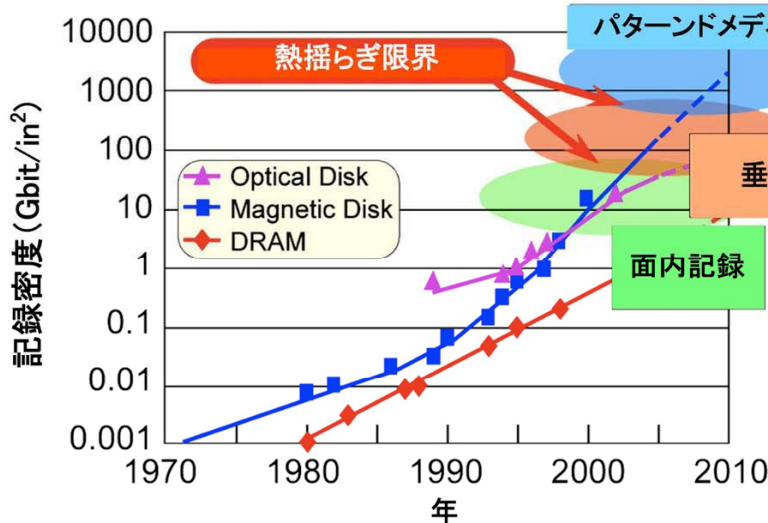


図4 パターンメディア

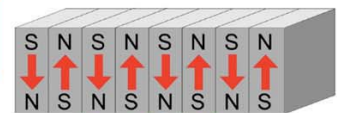


図3 垂直記録



図2 面内記録

■ 研究目的  
 金属ガラスを用いることにより、次世代の高密度磁気記録媒体技術として有力視される**パターンメディア**の作製技術を開発する

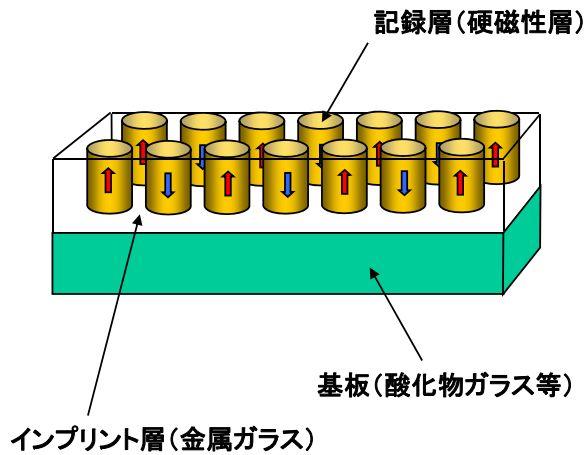
# 1. 研究開発背景

事業原簿 p. III-5

## 複合化金属ガラスを用いた製品化イメージ

資料 6-1-1

### 次世代高密度磁気記録媒体 (2 Tbit/in<sup>2</sup>のハードディスク)



#### インプリント裏打ち層

- ・ 金属ガラス層へのインプリント加工



超高密度パターン成形

- ・ 軟磁性裏打ち層による磁気記録特性向上

+

#### 記録層

- ・ 硬磁性層による磁気記録特性の付与

# 説明内容

資料 6-1-1

## 硬磁性・ナノ構造部材技術の研究開発

### 1. 研究開発背景

### 2. 目標値および開発体制

### 3. 研究開発成果

研究開発項目①-1 硬磁性複合化金属ガラスの合金創製

研究開発項目①-2-1 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術 (金型創製)

研究開発項目①-2-2 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術 (インプリント)

### 4. まとめと今後の課題

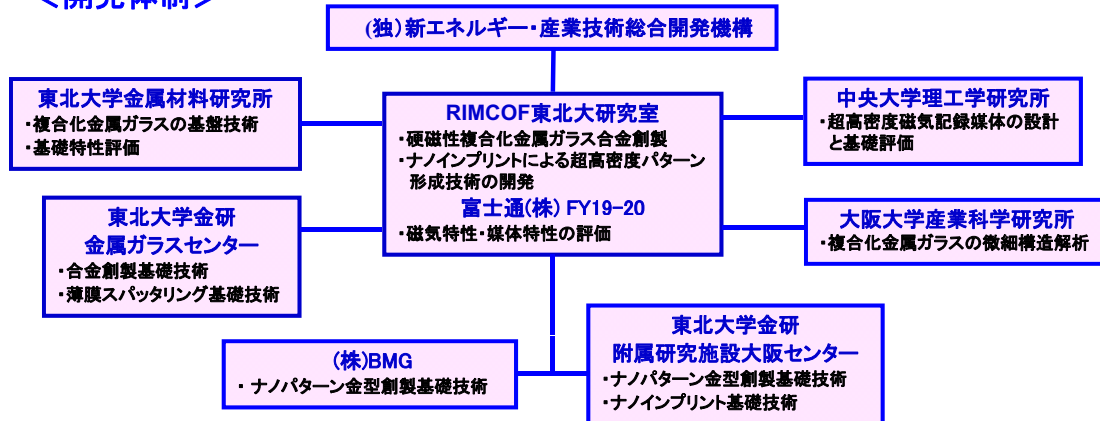
### 5. 実用化の見通し

## 2. 目標値および開発体制

### <目標値>

区分	開発項目	中間目標	最終目標
共通基盤技術	合金創製	異方性磁界10 kOe以下 飽和磁化500 emu/cc程度	異方性磁界15 kOe以下 飽和磁化500 emu/cc程度
	金型創製	ドット径 16 nm ドットピッチ 33 nm	ドット径 9 nm ドットピッチ 18 nm
	インプリント	ドット径 16 nm ドットピッチ 33 nm	ドット径 9 nm ドットピッチ 18 nm
実用化技術	磁気記録媒体の試作	記録密度600 Gbit/in <sup>2</sup>	記録密度2 Tbit/in <sup>2</sup>

### <開発体制>



## 説明内容

### 硬磁性・ナノ構造部材技術の研究開発

1. 研究開発背景
2. 目標値および開発体制
3. 研究開発成果
  - 研究開発項目①-1 硬磁性複合化金属ガラスの合金創製
  - 研究開発項目①-2-1 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術  
(金型創製)
  - 研究開発項目①-2-2 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術  
(インプリント)
4. まとめと今後の課題
5. 実用化の見通し

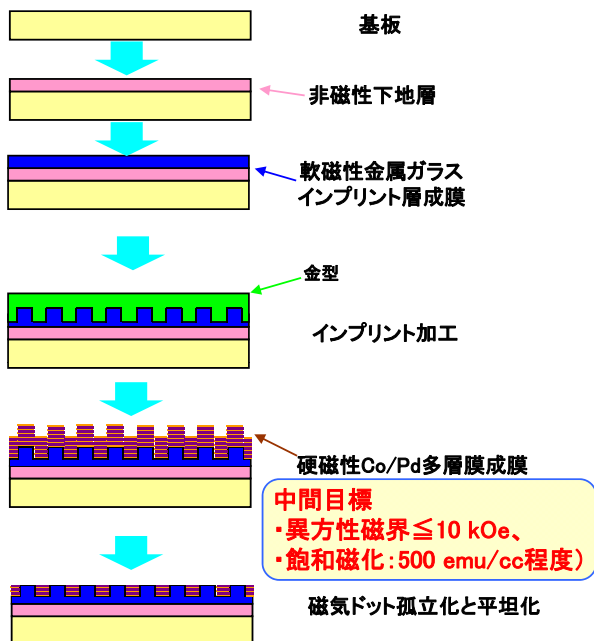
## 研究開発項目①-1

### 硬磁性複合化金属ガラスの合金創製

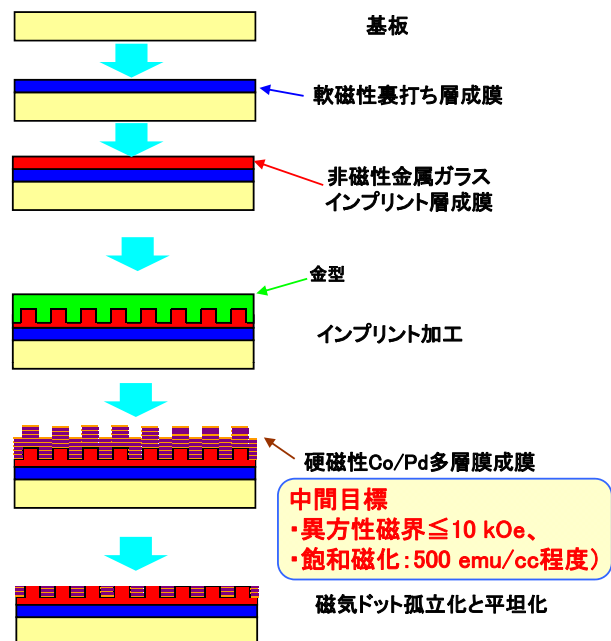
1. 想定される部材創製プロセス
2. 硬磁性記録層の成膜
3. 金属ガラスインプリント層の成膜
4. 軟磁性裏打ち層の成膜
5. 複合積層膜の成膜
6. 成果のまとめと目標達成状況

## 想定される媒体構造

### 第1案 (構造特許出願中)



### 第2案 (構造特許出願中)

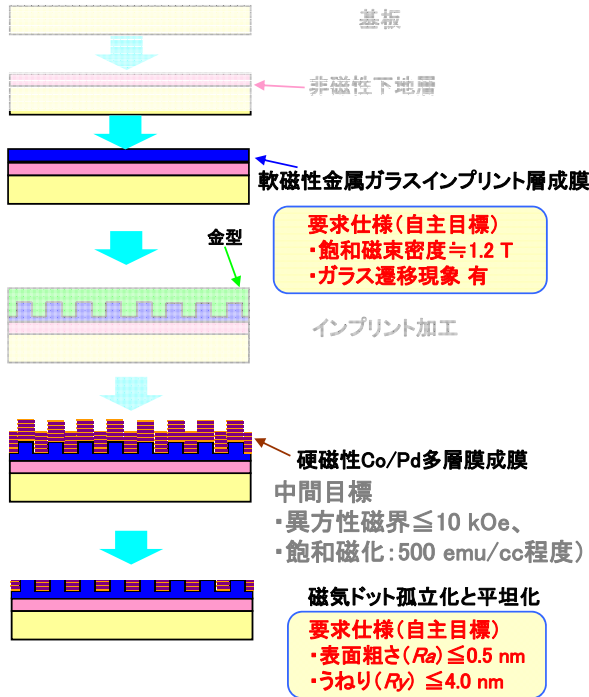




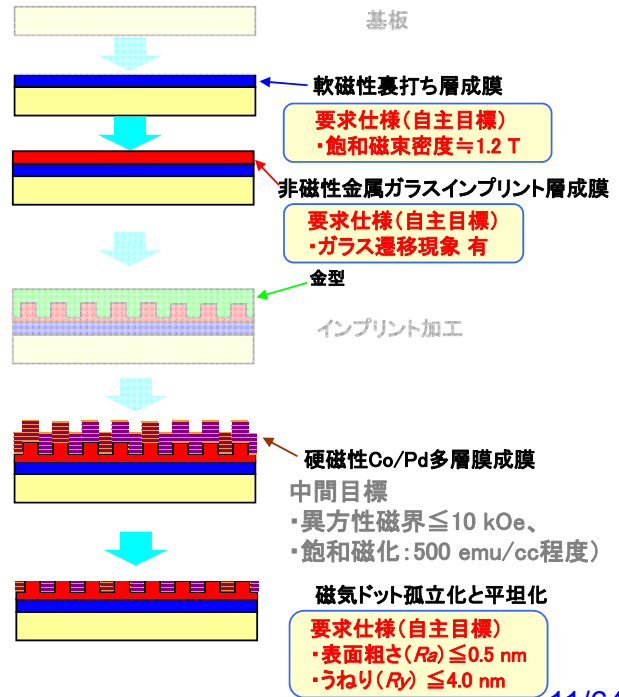
# 3. 研究開発成果

## 想定される媒体構造

### 第1案 (構造特許出願中)



### 第2案 (構造特許出願中)



# 3. 研究開発成果

## マグネトロンスパッタリング (MGS) 装置

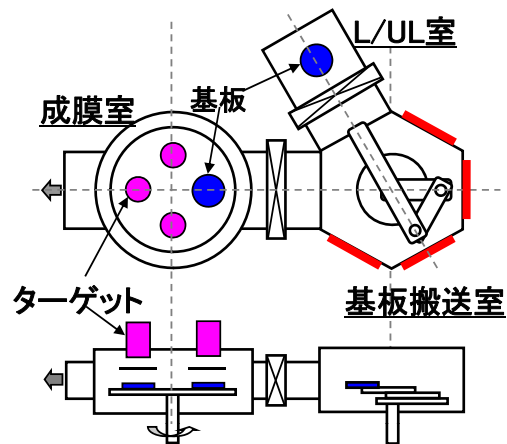
### <MGS装置外観>



### <MGS装置特徴>

- ・ 平行平板型スパッタダウン方式、
- ・ 軟磁性MG膜、非磁性MG膜、硬磁性膜の成膜が可能 (大気開放不要)
- ・ 基板逆スパッタ機能有り (RF電源)
- ・ インプリント加工装置と接続可能 (プランクフランジ 4個)

### <MGS装置概略>



1. 成膜速度が速い
2. 表面平坦性に優れた膜を形成
3. 単純な組成、構造の成膜に適する

↓  
硬磁性記録層の成膜

# 3. 研究開発成果

## 硬磁性膜の成膜結果 -1

<硬磁性膜の選定>

記録層の熱的安定条件

$$K_u \cdot V / k_b \cdot T = (1/2) \cdot H_k \cdot M_s \cdot V / k_b \cdot T \geq 60$$

異方性磁界:  $H_k$ , 飽和磁化:  $M_s$ , ボルツマン定数:  $k_b$ , 温度:  $T$

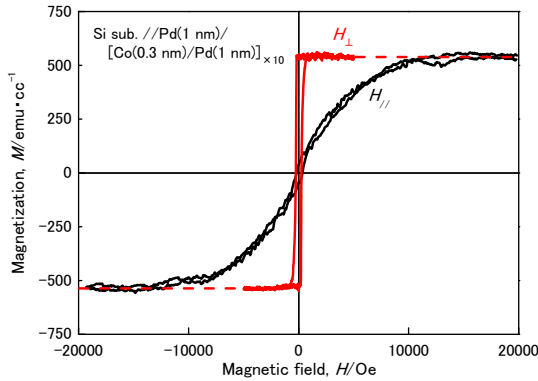
ドット体積

磁気ドットの径を16 nm、アスペクト比1と仮定し飽和磁化を500 emu/ccとすると、**熱安定性を確保する異方性磁界( $H_k$ )は3.1 kOe以上と見積もられる。**

⇒ **ドット体積(寸法)に応じて異方性磁界を3.1~10 kOeに調整必要** (飽和磁化を固定した場合)

**Co/Pd多層膜**

膜構造での異方性磁界の制御が可能<sup>1,2)</sup>



実験より得たCo/Pd積層膜のM-H曲線

	異方性磁界 [kOe]	飽和磁化 [emu/cc]
目標	≤ 10	≒ 500
結果	7.2 (ベタ膜)	540

**異方性磁界、飽和磁化: 目標達成 (ベタ膜)**

異方性磁界と膜構造の関係評価が必要

1) P. F. Carcia: J. Appl. Phys., 63(1988)5066.

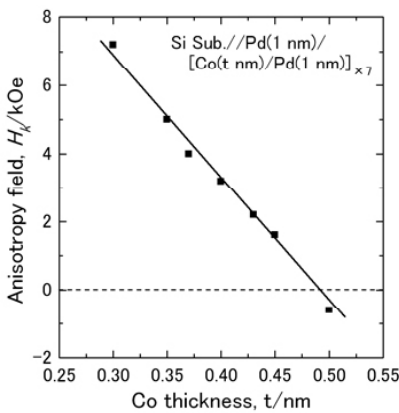
2) S. Tsunashima, M. Hasegawa, K. Nakamura and S. Uchiyama: J. Magn. Magn. Mater., 93(1991)465.

# 3. 研究開発成果

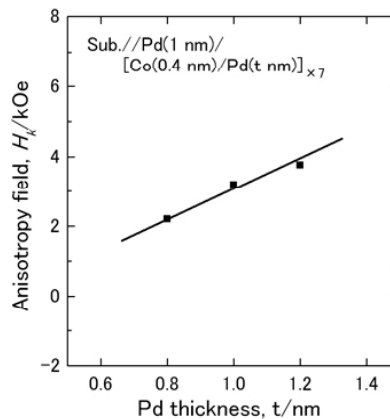
## 硬磁性膜の成膜結果 -2

<膜構造と異方性磁界( $H_k$ )の関係>

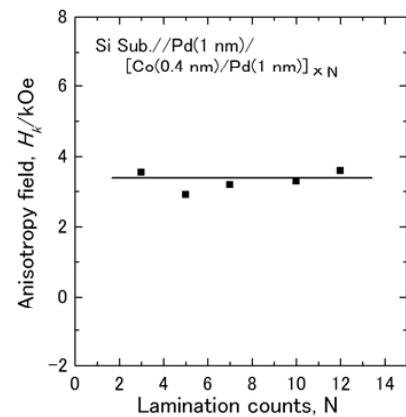
$H_k$ とCo膜厚の関係



$H_k$ とPd膜厚の関係



$H_k$ とCo/Pd積層数の関係



・異方性磁界: Co膜厚と反比例, Pd膜厚と比例関係にありCo/Pdの積層回数に依存しない。

・90 nm径ドットでは10~20 kOeで磁化反転を確認。

**ドット体積に応じた異方性磁界へ調整が可能→中間目標および自主目標を達成!**



## 3. 研究開発成果

## 非磁性金属ガラス膜の成膜

<非磁性金属ガラスの合金選定結果>

広い過冷却液体域を有する合金 ⇒ 熱的安定性 高 (結晶化の抵抗力 大)



ナノレベルの微細パターン成形の可能性あり

金属ガラス形成組成	ガラス遷移温度, $T_g$	過冷却液体域, $\Delta T_x$	臨界直径, $d_c$
$\text{Pd}_{42.5}\text{Cu}_{30}\text{Ni}_{7.5}\text{P}_{20}$ <sup>1)</sup>	303 °C	82 K	72 nm
$\text{Zr}_{55}\text{Al}_{10}\text{Ni}_5\text{Cu}_{30}$ <sup>2)</sup>	410 °C	90 K	30 nm
$\text{Cu}_{42}\text{Zr}_{42}\text{Al}_8\text{Ag}_8$ <sup>3)</sup>	432 °C	75 K	12 nm

⇒ 但し、極めて安定なPd基金属ガラスは成膜困難と予想されるPを20 at.%含有

ターゲット材質 {

- ・ 結晶 : 相によって原子間の結合性に差
- ・ 金属ガラス : 組成揺らぎがなく、原子間の結合性は強い

⇒ 金属ガラスでは、Pを含んだ安定なクラスタのまま基板に成膜される可能性有り

⇒ “P”を含む金属ガラス薄膜成膜の可能性有り

1) A. Inoue, N. Nishiyama and H. Kimura: Mater. Trans. JIM, 38(1997)179.

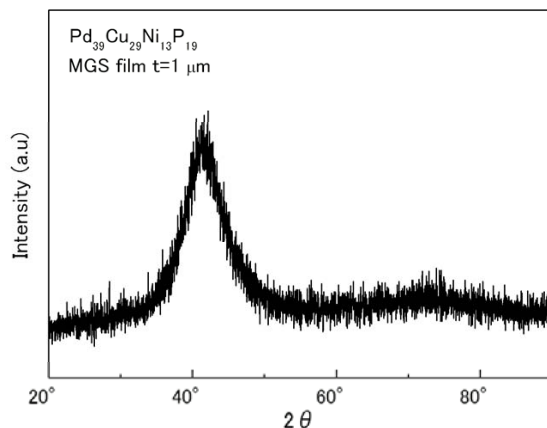
2) A. Inoue and T. Zhang: Mater. Trans. JIM, 37(1996)185.

3) W. Zhang, Q. Zhang, C. Qin and A. Inoue: Mater. Sci. Eng., B148(2008)92.

## 3. 研究開発成果

## 非磁性Pd基金属ガラス膜の成膜結果 (MGS法) -1

<相同定評価結果>



<表面性状評価結果>

粗さ=0.23 nm, うねり=2.4 nm

1  $\mu\text{m}$

<組成分析結果 (ICP) >

	Pd	Cu	Ni	P
目標組成	42.5	30	7.5	20
薄膜試料	39	29	13	19

・ Pを19 at.%含有

⇒ 目標組成との組成ずれ:  $\leq 3.5 \text{ at.}\%$

・ 表面平坦な緻密膜

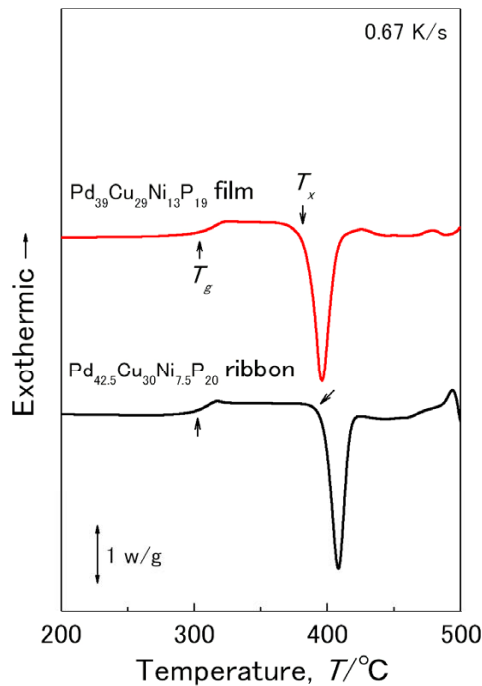
粗さおよびうねりの自主目標達成

### 3. 研究開発成果

#### 非磁性Pd基金属ガラス膜の成膜結果 (MGS法) -2

資料 6-1-1

<熱的性質評価結果>



	$T_g$ [°C]	$T_x$ [°C]	$\Delta T_x$ [°C]
MGS法で作製した薄膜 $Pd_{39}Cu_{29}Ni_{13}P_{19}$	302	385	83
液体急冷リボン $Pd_{42.5}Ni_{7.5}Cu_{30}P_{20}$ (目標組成)	301	397	96

- ・ 明瞭なガラス遷移現象確認
- ・ 80 °C以上の大きな過冷却液体域



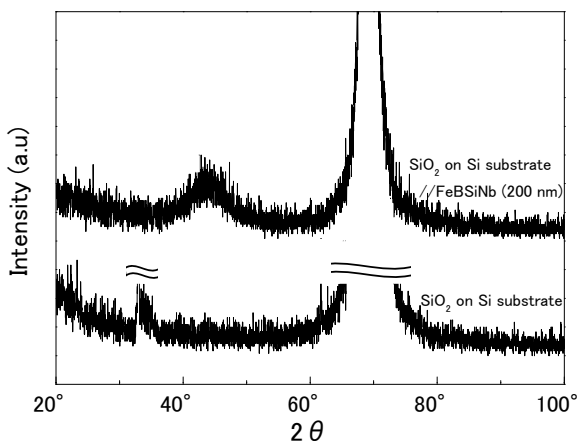
インプリント加工条件の最適化による  
加工性向上可能

### 3. 研究開発成果

#### 軟磁性金属ガラス膜の成膜結果 (MGS法) -1

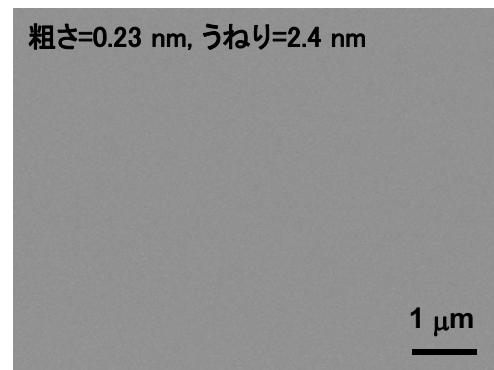
資料 6-1-1

<相同定評価結果>



<表面性状評価結果>

粗さ=0.23 nm, うねり=2.4 nm



<組成分析結果 (ICP) >

	Fe	B	Si	Nb
目標組成	72	20	4	4
薄膜試料	75	18	4	3

ドロップレット生成のない  
表面平坦な緻密膜  
 $R_s$ および $R_p$ の要求達成

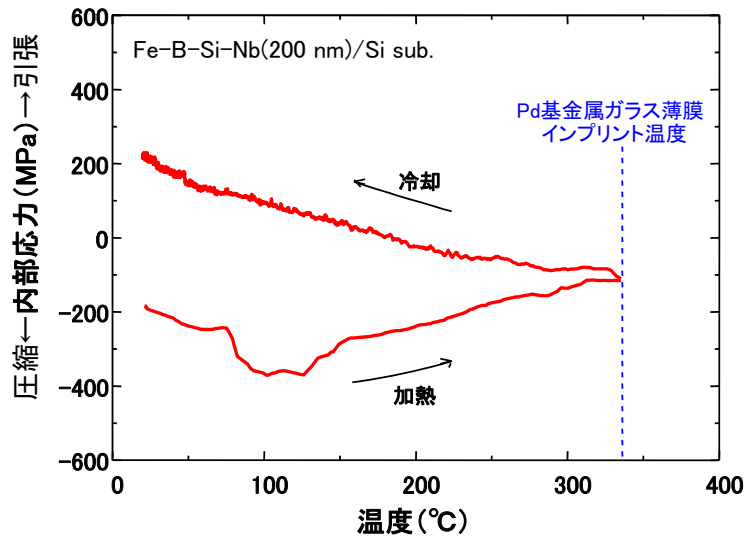


軟磁性裏打ち層へ適用可能

### 3. 研究開発成果

#### 軟磁性金属ガラス膜の成膜結果 (MGS法) -1

<インプリント前後の内部応力変化>



- ・インプリント前後で膜内の残留応力が異なる  
 圧縮応力 200 MPa ⇒ 引張応力 200 MPa
- ・ドットあるいはホール金型によるインプリント  
 ⇒ ミクロな領域での応力分布：???



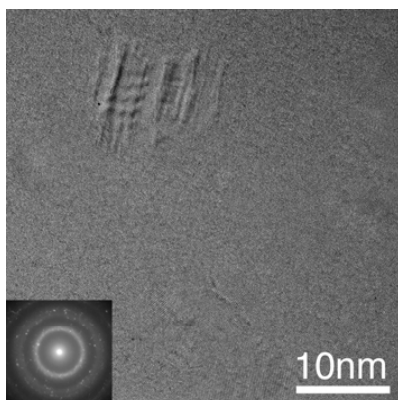
インプリント前後の磁気特性  
 磁わいにより変化する可能性有り

### 3. 研究開発成果

#### 軟磁性金属ガラス膜の成膜結果 (MGS法) -3

(Co<sub>0.935</sub>Fe<sub>0.065</sub>)<sub>85</sub>B<sub>15</sub>非晶質膜 : 磁わい  $\lambda \approx 0$ , 飽和磁束密度  $B_s = 1.32$  T (液体急冷試料)

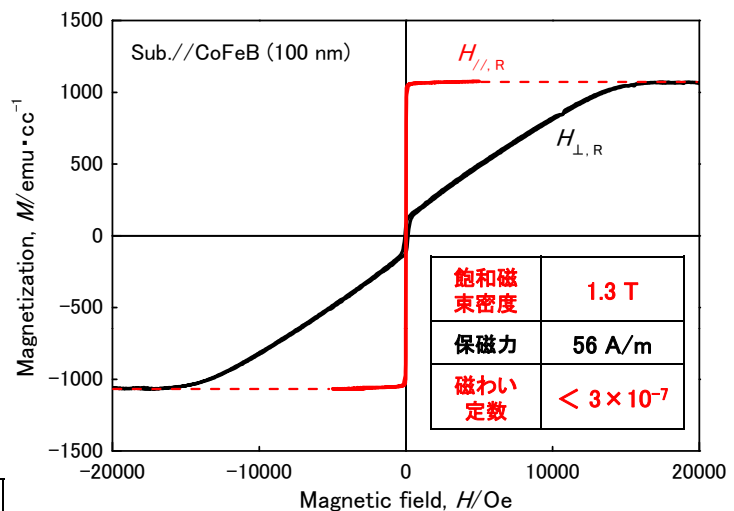
<相同定評価結果>



<組成分析結果 (ICP)>

	Co	Fe	B
目標組成	79.5	5.5	15
薄膜試料	80	5	15

<磁気特性評価結果>

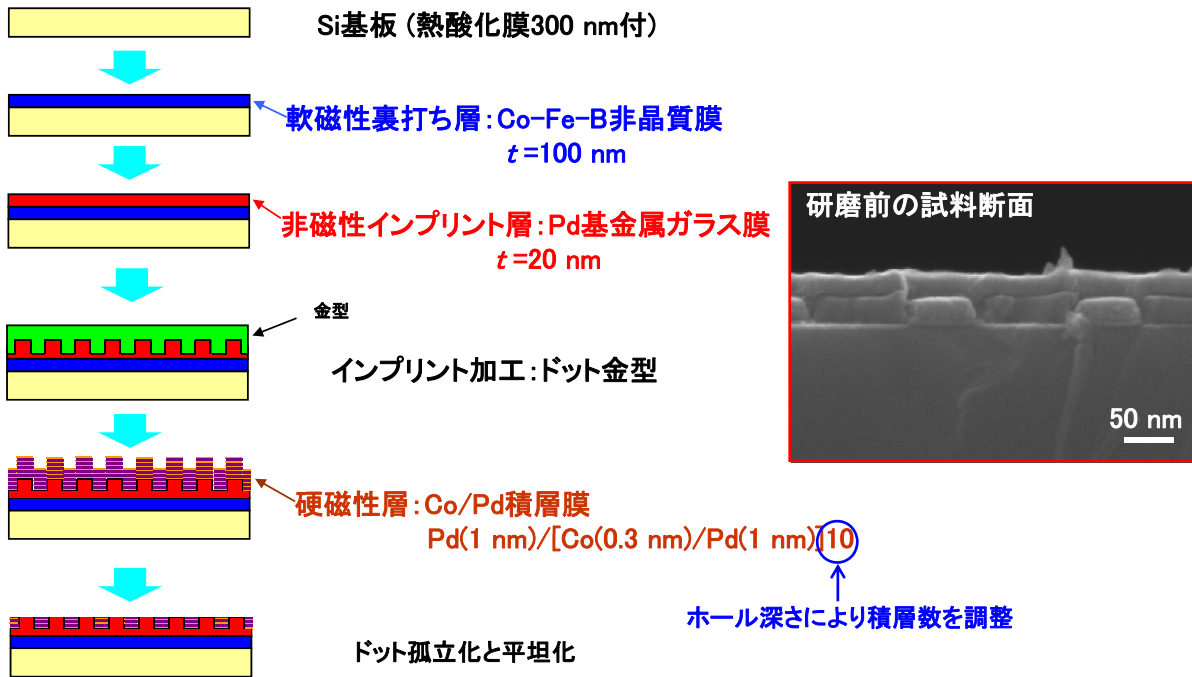


面内磁化膜, 磁わい  $\approx 0$ , 飽和磁束密度 要求達成。  
 軟磁性裏打ち層として適用可能

### 3. 研究開発成果

#### 積層複合膜 作製工程

資料 6-1-1



### 3. 研究開発成果

#### 成果のまとめと目標達成状況

資料 6-1-1

区分	開発項目	中間目標	成果まとめ	中間目標達成状況
共通基盤技術	合金創製	異方性磁界10 kOe以下 飽和磁化500 emu/cc程度	<ol style="list-style-type: none"> <li>硬磁性記録層                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Co/Pd積層膜(ベタ膜)にて、異方性磁界7.2 kOe、飽和磁化=540 emu/ccを確認。ドット径90 nmでは10~20 kOeで磁化反転(MFM)の評価結果を確認し中間目標を達成。</li> <li>膜構造の調整による異方性磁界の制御が可能であることを確認。</li> </ul> </li> <li>軟磁性裏打ち層                     <ul style="list-style-type: none"> <li>インプリント加工が可能なFe-B-Si-Nb系金属ガラス膜、磁わいの影響を受けないCo-Fe-B系ナノ結晶分散型非晶質膜を作製し、飽和磁束密度1.2 Tを確認し自主目標を達成。</li> <li>表面平坦な緻密膜で<math>R_s=0.5</math> nm、<math>R_y=4.0</math> nm以下を確認し自主目標を達成。</li> </ul> </li> <li>非磁性インプリント層                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Pd基、Zr基、Cu基金属ガラス膜を作製し、明瞭なガラス遷移現象の発現を確認。何れの膜も<math>R_s=0.5</math> nm、<math>R_y=4.0</math> nm以下を確認し自主目標を達成。</li> </ul> </li> <li>積層複合膜                     <ul style="list-style-type: none"> <li>各層を積層させた媒体成立性評価試料を作製。</li> </ul> </li> </ol>	◎
	金型創製	ドット径16 nm ドットピッチ 33 nm		
	インプリント技術	ドット径16 nm ドットピッチ 33 nm		

## 硬磁性・ナノ構造部材技術の研究開発

### 1. 研究開発背景

### 2. 目標値および開発体制

### 3. 研究開発成果

研究開発項目①-1 硬磁性複合化金属ガラスの合金創製

研究開発項目①-2-1 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術  
(金型創製)

研究開発項目①-2-2 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術  
(インプリント)

### 4. まとめと今後の課題

### 5. 実用化の見通し

## 3. 研究開発成果

### 研究開発項目①-2-1

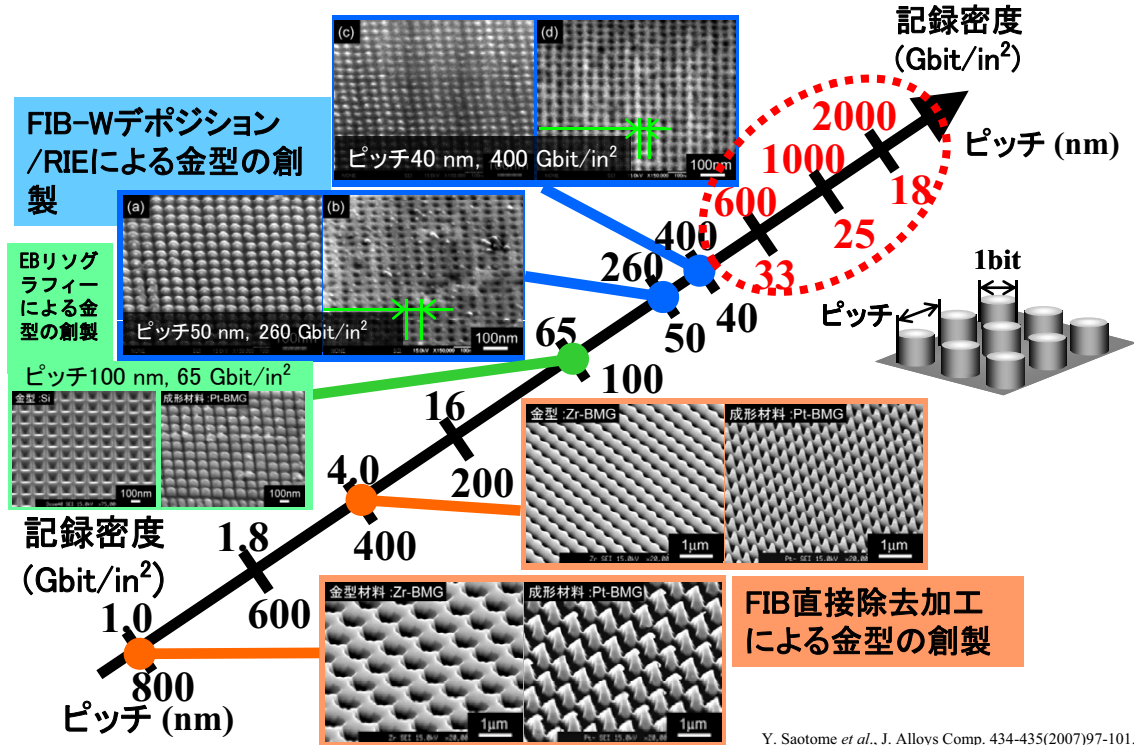
#### 金属ガラスによる超高密度パターンの形成技術(金型創製)

1. 想定される部材創製プロセス
2. 金型材料の選定
3. 集束イオンビーム(FIB)による直接除去造型
4. FIBデポジション+ドライエッチング加工による造型
5. 成果のまとめと目標達成状況

### 3. 研究開発成果

#### 想定される部材創製プロセス

資料 6-1-1



### 3. 研究開発成果

#### 想定される媒体構造と目標

資料 6-1-1





## 3. 研究開発成果

## 金型材料の選定

資料 6-1-1

インプリント用金型候補材料と諸特性

素材	Si			GC グラシー カーボン	DLC ダイヤモンド ライクカーボン	SiC	SiO <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	Pd基金属ガラス		
	柱状晶	単結晶	多結晶						ガラス 固体	過冷却 液体	結晶 固体
熱膨張係数 (10 <sup>-6</sup> /K)	3.34	3.43	3.33	2.6	2.4	4.3	0.5	3.1	17.0	27.0	14.2
熱伝導率 (W/mK)	163	160	162	5.8	700	67	1.3	29.3			
強度 (MPa)	85 (曲げ)	78.3 (曲げ)	77.2 (曲げ)	480 (圧縮)	—	40 (曲げ)	70 (曲げ)	900 (圧縮)	1640 (引張)	—	—
ヤング率 (GPa)	160	193	160	35	100- 250	408	72	27	78.1		
硬さ (HV)	1-53	1046	—	230	1500- 7000	2000	660	1360			
密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	2.53	2.33	2.33	1.42	—	3.1	2.2	3.1	9.27		
構造	結晶質	結晶質	結晶質	非晶質	非晶質	結晶質	非晶質	結晶質	—	—	—

結晶粒度に左右されない非晶質構造と高硬度 → Si/SiO<sub>2</sub>、GC、DLCを選定

## 3. 研究開発成果

## 集束イオンビーム(FIB)加工装置、インプリント装置および評価装置

資料 6-1-1



FIB加工装置 (平成20年度導入)

最小ビーム径: 4 nm  
 最小ビーム電流: 0.1 pA  
 最大加速電圧: 30 kV  
 デポジション用Pt, C  
 ガス銃装備  
 ナノレベルの微細加工が可能



原子間力顕微鏡 (MFM) (平成20年度導入)

測定モード  
 MFM、AFM、DFM、STM  
 環境制御機構  
 圧力: 大気圧 ~ 10<sup>-5</sup> Pa  
 温度: -120 ~ 300 °C  
 ナノレベルの形状、磁気評価が可能



ナノインプリント装置 (平成19年度導入)

最大荷重: 10 kN  
 荷重保持精度  
 : ±5 N  
 最大温度: 700 °C  
 温度保持精度  
 : ±2 %以内  
 高精度のインプリント  
 条件制御が可能



電界放射型走査電子顕微鏡 (FE-SEM) (平成19年度導入)

インレンズ二次電子検出器  
 二次電子分解能 1 nm @ 15 kV  
 エネルギー分散型X線分析  
 装置 (EDX) 装備  
 高倍率、低加速電圧での表面  
 形状評価が可能

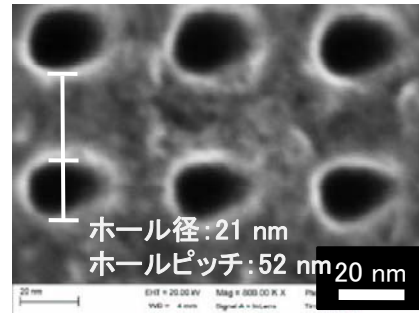
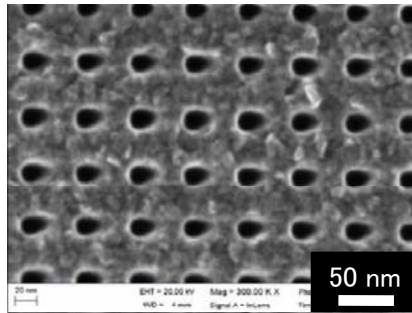
全ての装置をクリーンブース(クラス1000)内に一括設置

### 3. 研究開発成果

#### FIB直接除去加工による凹型金型(GC製)の創製

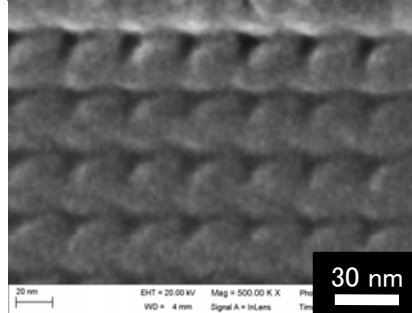
資料 6-1-1

加工設定  
ホール径: 20 nm  
ホールピッチ: 50 nm



FIB装置: SII社製(H20年2月導入)

加工設定  
ホール径: 20 nm  
ホールピッチ: 33 nm



- ・ホール径: 20 nm、ホールピッチ: 50 nm  
→加工可能
- ・ホール径: 20 nm、ホールピッチ: 33 nm  
→加工方法の検討が必要  
(中間目標)  
ホール径: 16 nm、ホールピッチ: 33 nm

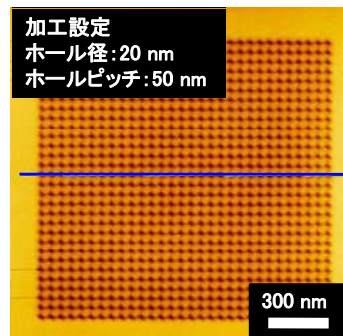
導入FIBにてホール径約20 nm(SEMでの計測)のパターン加工を確認した。

### 3. 研究開発成果

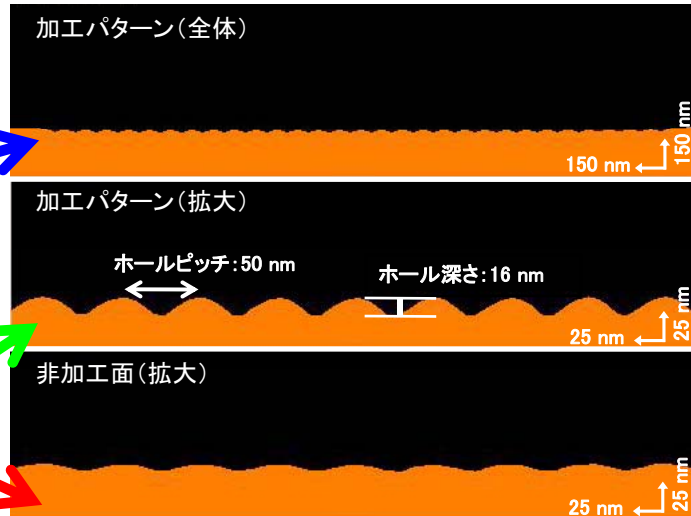
#### FIB直接除去加工による凹型金型(GC製)の形状評価

資料 6-1-1

加工パターンのAFM像(正面)



加工パターンのAFM像(断面)



加工ホール形状がドーム状、径の広がり、浅く、段差が有り  
→GCのFIB直接加工では高アスペクト比、矩形形状の微細加工は困難。

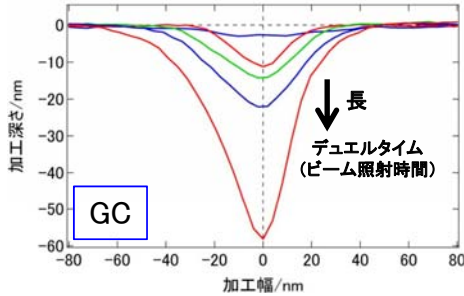


# 3. 研究開発成果

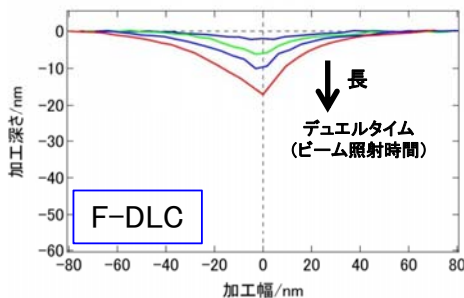
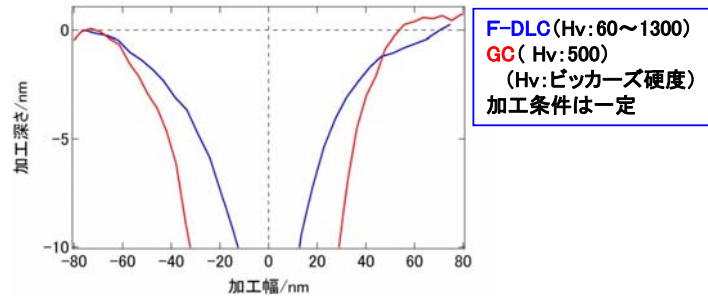
## FIB直接除去加工による凹型金型(GC製)の断面形状評価

GCとダイヤモンドライクカーボン(DLC)のFIB加工特性

加工時間と加工形状



加工材料と加工形状



加工条件が同一で、同じ深さを加工する場合、GCよりF-DLCがより小径の加工が可能である  
→加工速度の違いを利用した積層構造基板のFIB微細加工による金型作製が想定される。

# 3. 研究開発成果

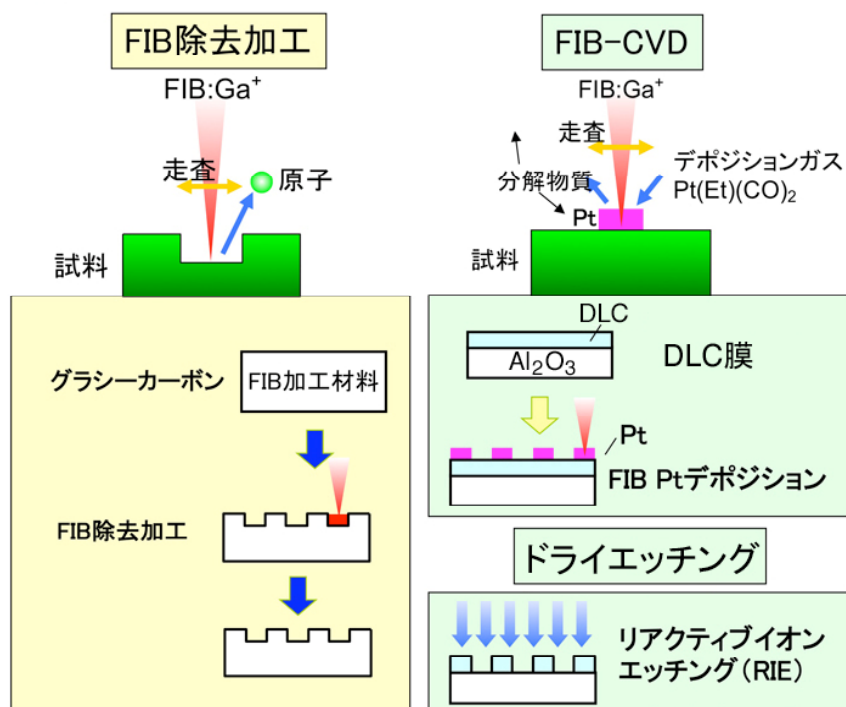
## FIBデポジション + ドライエッチングによる金型創製



FIB加工装置 (デポジション機能) (平成20年度導入)



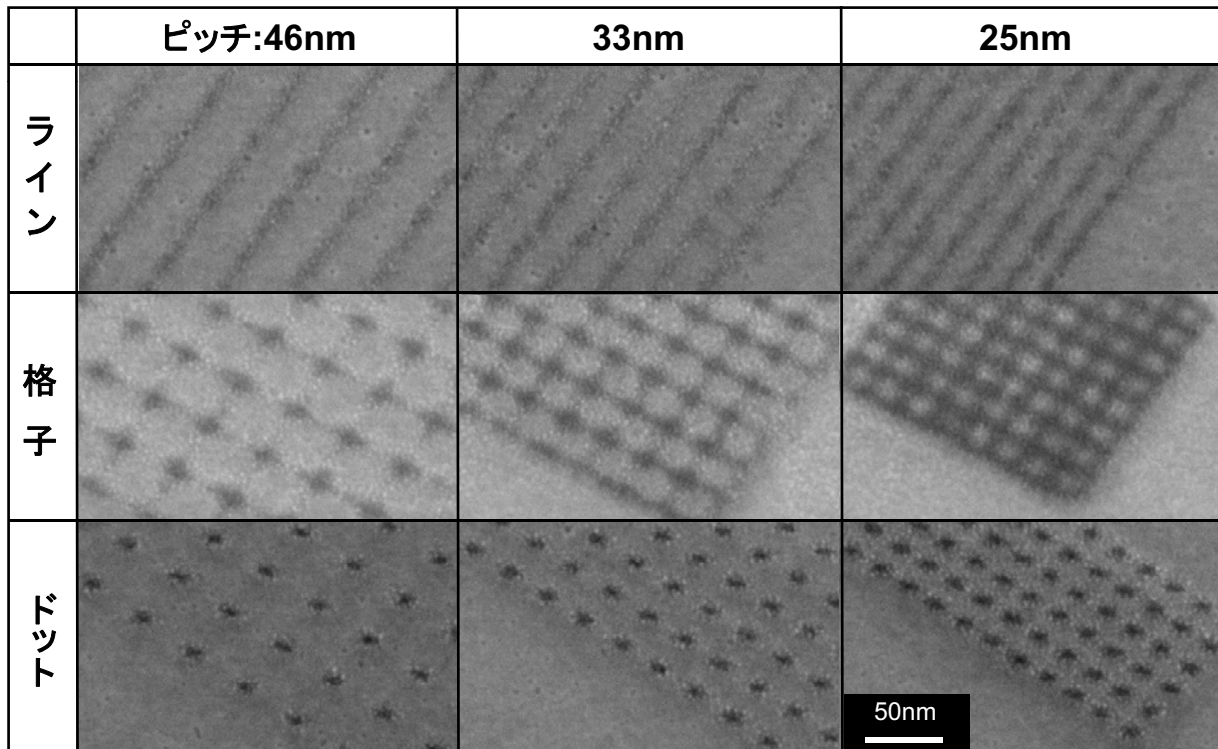
ドライエッチング装置 (平成20年度導入)



### 3. 研究開発成果

#### FIBデポジションによるPtマスクの創製(SiO<sub>2</sub>/Si基板上)

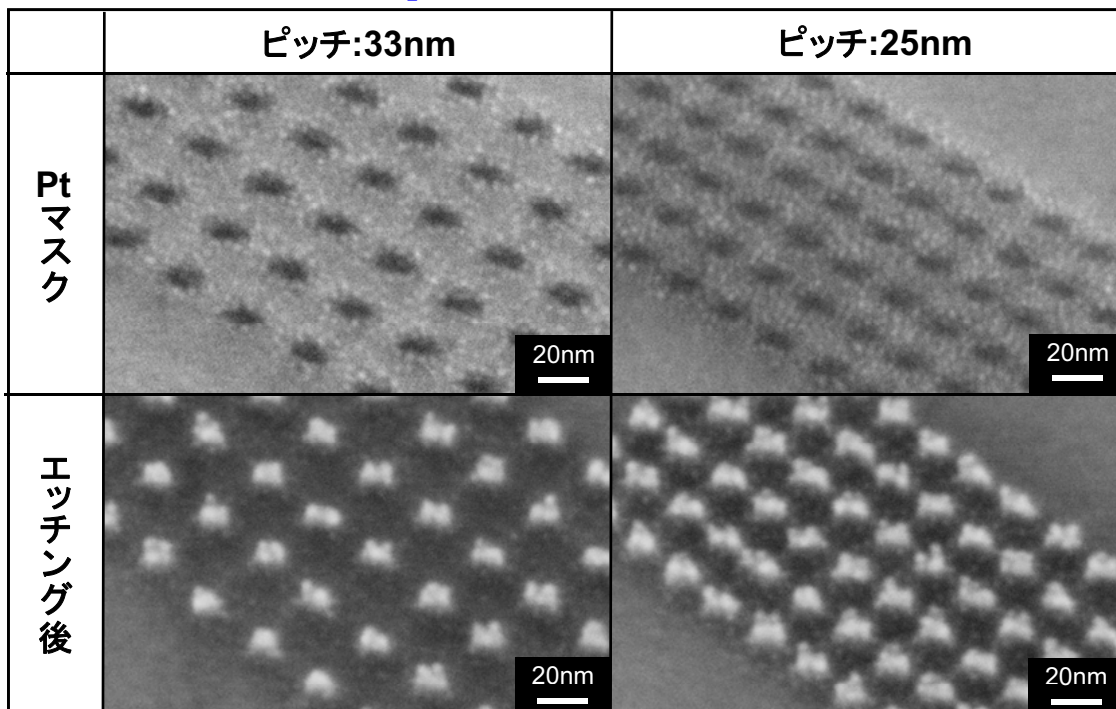
資料 6-1-1



### 3. 研究開発成果

#### ドライエッチング加工(SiO<sub>2</sub>/Si基板上ドットパターン)

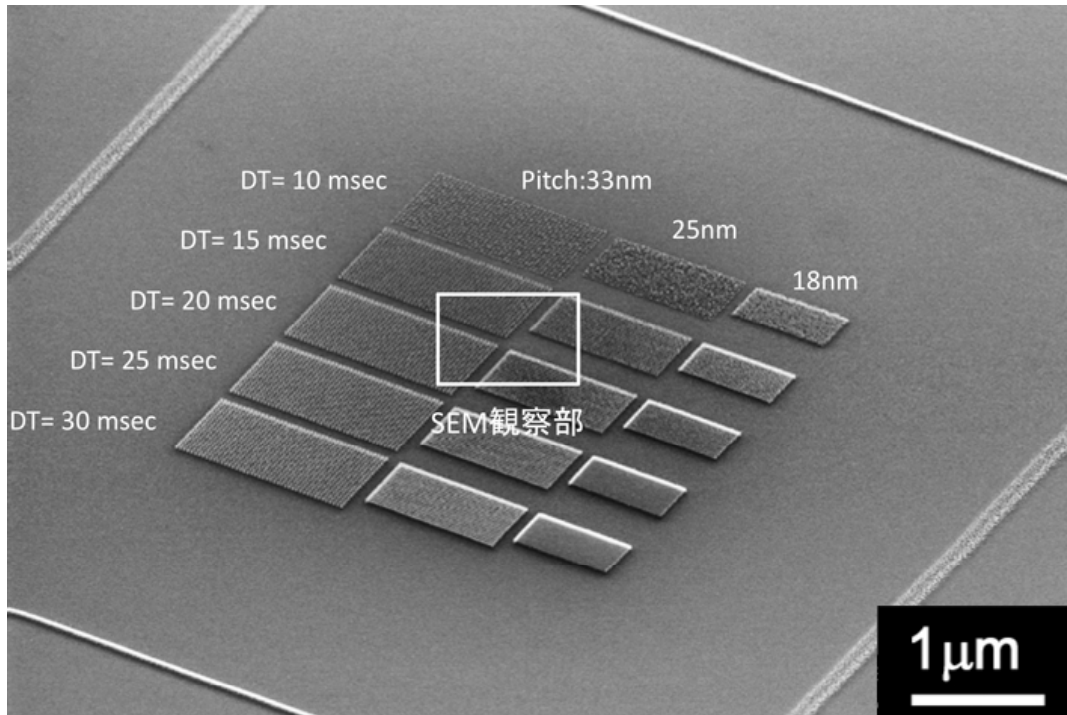
資料 6-1-1



エッチング条件---RF出力:大, 時間:短

### 3. 研究開発成果

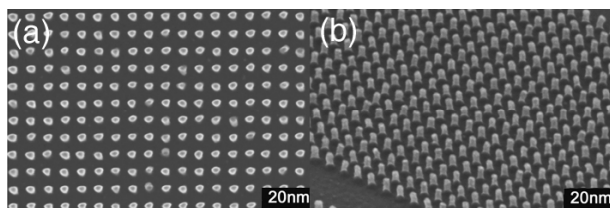
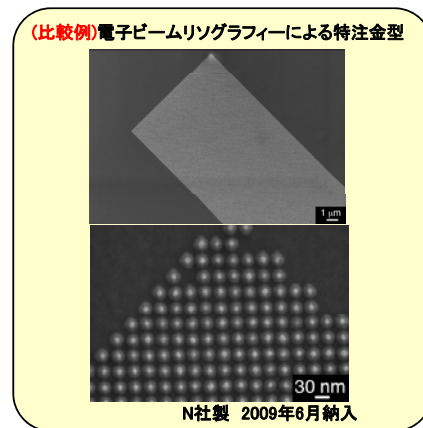
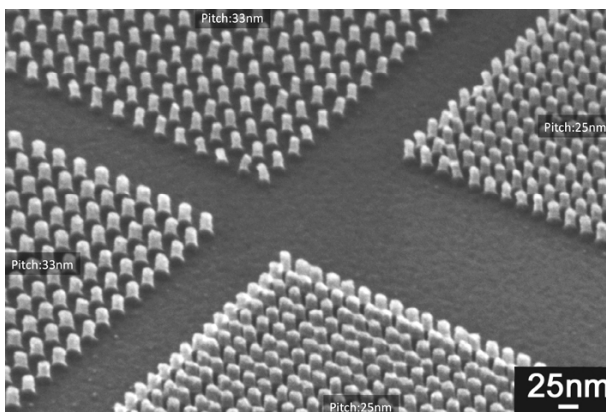
#### エッチング条件および基板再選定による金型創製(DLC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基板)-1 資料 6-1-1



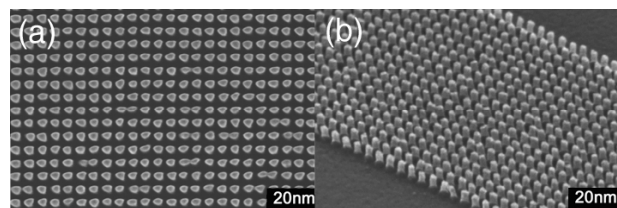
エッチング条件---RF出力:小, 時間:長

### 3. 研究開発成果

#### エッチング条件および基板再選定による金型創製(DLC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基板)-2 資料 6-1-1



ピッチ33 nm金型の(a)正面像、(b)傾斜像(600Gbit/in<sup>2</sup>相当)



ピッチ25 nm金型の(a)正面像、(b)傾斜像(1Tbit/in<sup>2</sup>相当)

**ピッチとアスペクト比で世界最高水準!**



# 3. 研究開発成果

## 成果のまとめと目標達成状況

資料 6-1-1

区分	開発項目	中間目標	成果まとめ	中間目標達成状況
共通基盤技術	合金創製	異方性磁界10 kOe以下 飽和磁化500 emu/cc程度		
	金型創製	ドット径 16 nm ドットピッチ 33 nm	<ol style="list-style-type: none"> <li>金型材料の選定           <ul style="list-style-type: none"> <li>・非晶質構造で高硬度のSiO<sub>2</sub>/Si、GC、DLCを選定</li> </ul> </li> <li>FIB直接除去加工による凹型金型の創製           <ul style="list-style-type: none"> <li>・GC表面にホール径20 nm、ピッチ50 nmの凹型金型創製に成功。ホール形状がドーム状であり底部平坦な加工は困難と判断。</li> <li>・ドーム形状はイオンビームの強度プロファイルにあると推察。DLCにおいても同様の傾向を確認。</li> </ul> </li> <li>FIBデポジション + ドライエッチングによる金型の創製           <ul style="list-style-type: none"> <li>・SiO<sub>2</sub>/Si基板上にPtデポジション&amp;ドライエッチングでドット径12 nm、ピッチ25 nmの凸型パターン創製に成功したが、アスペクト比 不十分。</li> <li>・基板をDLC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に変更、エッチング条件を見直してドット径12 nm、ピッチ25 nmの高アスペクト凸型パターン(1Tbit/in<sup>2</sup>相当)の創製に成功(世界最高水準)。</li> </ul> </li> <li>インプリント工程への金型の供給           <ul style="list-style-type: none"> <li>・DLC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基板上的に創製したドット径12 nm、ピッチ25 nmの高アスペクト凸型パターン(1Tbit/in<sup>2</sup>相当)をインプリント試験用に供給。</li> </ul> </li> </ol>	◎
		ドット径16 nm ドットピッチ 33 nm		

# 説明内容

資料 6-1-1

## 硬磁性・ナノ構造部材技術の研究開発

### 1. 研究開発背景

### 2. 目標値および開発体制

### 3. 研究開発成果

研究開発項目①-1 硬磁性複合化金属ガラスの合金創製

研究開発項目①-2-1 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術  
(金型創製)

研究開発項目①-2-2 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術  
(インプリント)

### 4. まとめと今後の課題

### 5. 実用化の見通し